

الدكتور علي رافق

فن العمارة
والهندسة
المسلحة

فن العمارة والحرسالة المسلحة

أشكال إنشائية ومساقط وتعبيرات جديدة جميعها تحققت باستعمال الحرسالة المسلحة في العمارة . وفي نصف قرن مضى منذ الاعتراف بها كمادة إنشائية تطورت الحرسالة المسلحة إلى مادة ثورية إلى حد أن فاصلاً واضحاً قد تولد بين العمارة والإنشاء . وهذا الكتاب هو الصلة الوحيدة المتوفرة لدينا بين الفن المعماري والمبادئ الإنشائية التي استحدثتها الحرسالة المسلحة . وفي لغة بسيطة حاول المؤلف أن يشرح تأثير هذه المبادئ الإنشائية على التصميم المعماري .

وقد ظهرت أهم التطورات الإنشائية التي أثرت على مجال التصميم المعماري اليوم في مجال الإنشاء بالصفقات القشرية . . . التشكيلات بالأسطح النعمالة المفردة والمزدوجة الانحناء . . . الإنشاء بالوحدات السابقة التجهيز السابقة الإجهاد ، كما طورها نيرنر وكاندلسترون وخوا وغيرهم . . . جميعها غيرت وجه العمارة في أغلب بلاد العالم .

وقد أعطت اللوحات المرسومة والصور بعداً آخر لنص هذا الكتاب ؛ مئات الرسومات (عملت خصيصاً بواسطة المؤلف لهذا الكتاب) لاقتراحات للمؤلف وصور لمباني في مختلف بقاع الأرض وضحت المبادئ وتطبيقاتها العملية .

وقد اشتمل الكتاب على بحث تاريخي عن المحاولات الإنشائية والمعمارية الأولى بالحرسالة المسلحة . وقد ركز المؤلف فيه على مناقشة معلومات في هذا المجال التي نقلت إلينا من مؤلف لآخر دون مناقشة عن مدى صحتها التاريخية . كما أكمل المؤلف نقصاً في تاريخ تطور الحرسالة المسلحة عن دور الولايات المتحدة فيه .

والناشر على يقين أن الممارسين والإنشائيين على السواء سيجدوا أن الكتاب ضرورة لهم في مزاولة المهنة ورأساً لمخطوط تطور عمارة المستقبل .

فنون العمارة والهندسة المسلحة

الناشر،

مؤسسة أكابى وشركاه للنشر والتوزيع

١٤ جواد حسي - القاهرة

هذا الكتاب

اجتمع لهذا الكتاب القيم من أصالة البحث ودقة المعلومات في فن العمارة والحرسانة المساحة ما جعله جديراً بالنشر باللغة العربية ، حتى يتسنى لأبناء الأمة العربية الاستفادة منه في مجال البناء والتشييد ، وخاصة أن المكتبة العربية ما زالت بحاجة ماسة إلى هذا النوع من الدراسة .

وميزة هذا الكتاب أن مؤلفه الأستاذ الدكتور على رأفت الأستاذ بكلية الهندسة جامعة القاهرة - وهو مهندس عربي من ذوى الكفايات المتخصصة - قد نشره في طبعته الأولى باللغة الإنجليزية في الولايات المتحدة . وقد لاقى الكتاب إقبالا كبيراً في طبعته الإنجليزية لما له من قيمة علمية فذة ، مما حدا بمؤسسة فرانكلين . حرصاً على تزويد الخبرة العربية بما فيه من معلومات نادرة فريدة ، أن تطلب من المؤلف إعادة نشره لتضيف به جديداً إلى مكتبة الفن المعماري في بلادنا .

وقد رأى المؤلف إعادة كتابته مع تعديله ليتمشى مع آخر التطورات في مجال عمارة الحرسانة المساحة .

مؤسسة الحلبي وشركاه للنشر والتوزيع

مؤسسة فرانكلين للطباعة والنشر

الدكتور علي حارث

فن العمارة
والهندسة
المسلحة

هذه الطبعة مرخص بها ، وقد قامت مؤسسة فرانكلين للطباعة والنشر بشراء حق النشر من صاحب هذا الحق .

This is an authorized translation of REINFORCED CONCRETE IN ARCHITECTURE
by Aly Ahmed Raafat. Copyright 1958 Reinhold Publishing Corporation, New York.

*The following is a list of firms and offices whose help in providing
pictures or information is deeply appreciated :*

*The American Concrete Institute
Armanni and Whitney, consulting engineers
Archer & Allen, architects
The Architectural Forum
The Architectural Press
The Architectural Record
Max Bill, architect
The Barrel Vault Roof (Designs) Ltd.
Ove Arup and Partners, engineers
British Information Service, New-York
F.W. Dodge Corporation
Cement and Concrete Association
CIBA de Mexico, S.A.
Clements, architects
S.C. Johnson & Son, Inc.
J.L. Kier & Co.
Lone Star Company
Pier Luigi Nervi, engineer
Eliot Noyes, architect
A. Ortogo, architect
Chr. Ostenfeld & Z. Janson, consulting engineers
Portland Cement Association
Antonin Raymond & L.L. Rado, architects
Roberts & Shaeffer Company, consulting engineers
G.E. Kidder Smith, architect
Edward D. Stone, architect
E. Torroja, engineer
Universal Atlas Cement Company
Weed , Russell, Johnson Associates, architects and engineers
Yamasaki, Leinweber & Associates, architects and engineers.*

محتويات الكتاب

الصفحة

٥	فهرس
٨	مقدمة
١٠	تقديم
١٤	مدخل
١٧	تقديم الطبعة الروسية
٢٢	تعقيب المؤلف
٢٣	الجزء الأول - دورة النمو :
٢٥	الفصل الأول : المحاولات الإنشائية الأولى لاستعمال الخرسانة المسلحة
٢٦	الأحداث السابقة
٢٣	أوائل المكتشفين للخرسانة المسلحة
٤١	مرحلة التطور
٤٩	الفصل الثاني : التشكيلات المعمارية الأولى للخرسانة المسلحة
٥٠	اتجاهات الإحياء والاقتباس
٥٧	الثورة على الاقتباس
٧٥	الاتجاهات المعمارية بالخرسانة المسلحة في العشرينات
٧٩	الفصل الثالث : التقدم في المواد وطرق الإنشاء
٨٠	المواد
٨٦	طرق الإنشاء
٨٩	سبق التجهيز
١٠٩	معالجة الأسطح الخرسانية
١١٣	الفصل الرابع : الابتكارات التكنولوجية في مجال التصميم
١١٤	البلاطة الخرسانية كوحدة إنشائية فعالة
١١٦	الصدقات القشرية
١٢٠	الخرسانة السابقة الإجهاد
١٢٣	الفصل الخامس : المؤثرات الإقليمية
١٢٤	عوامل المناخ
١٢٥	العوامل الاقتصادية
١٣٣	العوامل الاجتماعية
١٣٥	العوامل القانونية

١٣٧	رسومات وصور الجزء الأول
٢١٣	الجزء الثاني - عمارة الخرسانة المسلحة
٢١٥	الفصل السادس : الخرسانة المسلحة والإنشاء
٢١٨	التكوينات بالوحدات الخطية
٢٢١	التكوينات بالأسطح الإنشائية الفعالة
٢٣١	الفصل السابع : التكوينات المعمارية بالمسطحات الفعالة مزدوجة الانحناء
٢٣٥	المشكلات المعمارية لاستعمال الأسطح الفعالة مزدوجة الانحناء
٢٣٦	المنحنيان نفس الإشارة
٢٤٤	المنحنيان مختلفي الإشارة
٢٤٩	الفصل الثامن : التكوينات المعمارية بالأسطح الفعالة مفردة الانحناء والمستوية
٢٥٠	الوحدات مفردة الانحناء
٢٥٦	الأسطح المستوية
٢٦٣	الفصل التاسع : التشكيلات المعمارية بالوحدات الخطية
٢٦٤	الوحدات الخطية المنحنية
٢٦٧	الوحدات الخطية المستقيمة
٢٦٩	الإنشاء بالعمود والكمرة
٢٧١	الفصل العاشر : السطح والشكل الجمالي
٢٧٢	السطح الجمالي - اللون
٢٧٦	الملمس
٢٨٣	الشكل الجمالي
٢٩١	الفصل الحادي عشر : التعبير المعماري بالخرسانة المسلحة
٢٩٢	التعبير عن طبيعة المادة وانطباعاتها
٢٩٥	الخرسانة كمادة بلاستيكية متماسكة
٣٠٠	الخرسانة كمادة قوية في الانضغاط
٣٠١	التعبير عن طريقة الصناعة
٣٠٤	التعبير عن طريقة التجميع الإنشائي
٣٠٥	التشكيلات الإنشائية الخطية
٣١٧	رسومات وصور توضيحية الجزء الثاني
٤٣٧	الخاتمة
٤٤٣	Apendix
٤٤٥	فهرس الحواشي
٤٥١	فهرس أبجدي

مقدمة

ساعات وساعات انقضت تحت شمس القاهرة الذهبية في مراقبة عمال ذوى طاقة لا تنهى ، وصبر لا ينفد ، يرفعون ويقلبون في سرعة ونشاط مزيجاً رمادياً من الزلط والرمل والأسمنت ليرقد في قوالب صاغها المعماري بإرادته . هذا المنظر اللافت لنظر المؤلف وغيره من صبية الحى كان كافياً ليتركوا ألعابهم ويتجمعوا حول العمال ليشاركوا معهم في غنائهم الذى يصاحب كل دفعة من الجاروف .

وبعد سنين طويلة ما يزال المؤلف يحتفظ بمشاعر خاصة للخرسانة المسلحة ، مشاعر مرتبطة بالمرح والسرور والمسئولية المصاحبة للعمل الخلاق المبدع . وعندما حان الوقت لمتابعة الدراسة اتجه المؤلف إلى موضوعه المفضل بعد إشارة إليه من البروفسور تالبوت هاملين . وقد كان لسعة معلومات وتشجيع البروفسور هاملين أثر كبير في بداية هذا العمل . وقد خسر المؤلف بوفاته صديقاً حميماً وأستاذاً جليلاً .

مثل هذا العمل كان من الصعب تحقيقه بدون المساعدة الكريمة والعون الأدبي والمادى لعدد كبير من الأفراد والهيئات .

فإلى أساتذتى وزملائى بكلية الهندسة في جامعة القاهرة أدين بأكثر مما أستطيع التعبير عنه لمساعدتهم طوال سنوات دراستى وزمالتى معهم في هيئة التدريس ، وأخص منهم الأستاذ الراحل المرحوم على لبيب جبر والأستاذين محمد شريف نعمان ومصطفى شافعى والدكتور كمال الدين سامح والأستاذ يوسف شفيق . وإليهم وإلى باقى أعضاء هيئة التدريس بالكلية أتوجه بعرفانى وتقديرى .

وقد كانت السنوات التى قضيتها في جامعة كولومبيا مصدراً لغنى العقل والقلب ، وإن المعونة الثقافية والمادية التى قدمها لى هذا المعهد قد ساعدت كثيراً على تكملة هذا البحث .

ويتجه شكري الخاص إلى البروفيسور ليوبولد أرنود الذى ملأ عطفه وهدايته قلبى بأخلص مشاعر العرفان . كما أنى مدين البروفسور جيمس فتش والمرحوم البروفسور برونو فانارو لنصائحهم المتخصصة ، وقد كان لشرف مساعدتى للبروفيسور ماريو سالفادورى في محاضراته الشاملة عن الأسقف القشرية فضل كبير في إصدار هذا الكتاب .

ولالى هيئة أساتذة وموظفى مكنتبات آفرى وويرتحت نخرة البروفسور جيمس فان دير بول ومساعدة أدولف بلاتشيك أوجه شكرى لمساعداتهم فى السنين التى قضيتها بين المراجع القيمة التى تحتويها المكتبتان المعماريتان .

ولا أنسى عون ومساعدة عدد كبير من المكاتب والهيئات الهندسية المختصة ، فالى هؤلاء ولالى خبرائهم أعبر عن شكرى الخالص ، وقد أدرجت بجوار هذه المقدمة كشفاً بأسماء هذه الهيئات .

وفى الختام أذكر صديقاً رحل عنا ، ورحل برحيله أستاذ كبير وأخ كريم خصنى بتشجيعه منذ رجوعى إلى أرض الوطن ، وكان عمله الذى أفنى فيه آخر قطرة من حياته هو نقل ثقافة وعلم الغرب إلى العربية الأخ الأستاذ حسن جلال العروسى ، وقد رأى أن الكتاب الذى ألفه عربى بلغة الغرب أجدر بالظهور بلغة المؤلف الأصلية . وقد تابعتى بصبر فى جميع مراحل إعداد طبعة مستجدة . وقد تطلبت الطبعة الحالية بالعربية إعادة الكتابة كاملة لكى يصدر الكتاب شاملاً للتطورات الأخيرة فى عمارة الخرسانة المسلحة بين عامى ١٩٥٨/١٩٧٠ .

ولالى أساتذتى وزملائى وأصدقائى ليس لدى ما أضيفه إلا أن أقدم لهم نتيجة مساعداتهم على أمل أن ترضيهم قراءته بقدر ما أرضيتنى كتابته .

دكتور على رأفت

القاهرة - ١٩٧٠

تقديم

الاهتمام المتزايد باستعمال الخرسانة المسلحة والمشاهد في السنين القليلة الماضية في الولايات المتحدة يتطلب يقظة من المعمارى والإنشائى لإمكانيات هذه المادة الإنشائية .

حقيقة إن عبقرية معمارية قد تدرك في لحظة تطور هذه المادة على مدى الأعوام المائة الماضية ، وقد تستطيع أن تعبر عن إمكانياتها في أشكال معمارية حية وإنشائية سليمة . غير أنه من الواضح أن المعمارى المعاصر يحتاج إلى توجيه في تلمسه لميدان ما زال غريباً عليه إلى اليوم . ومن أحسن الوسائل لمثل هذا التوجيه اطلاعه على منظور شامل للاستعمالات الماضية والحالية للخرسانة في العمارة . مثل هذا المنظور يشير بوضوح وبساطة إلى الاتجاهات الرئيسية للتطور ، ويوجه إلى احتمالات المستقبل .

لقد حاول الدكتور على رأفت بنجاح إعطاء المهندس المعمارى الأمريكى مثل هذا المنظور العام ، وإنى على ثقة بأن هذا الكتاب سيكون له أثر عميق في استعمال الخرسانة في الولايات المتحدة .

ومن الصعب إدراك أن تجاربنا في معالجة المواد الإنشائية الأخرى المتباينة ، مثل الأحجار والطوب والمونة والحديد والألومنيوم لن تساعدنا بالضرورة على تفهمنا للخرسانة . فقد تعلمنا خلال الدراسات النظرية والتجارب الطويلة كيف نضع الوحدات الإنشائية الجاهزة والواردة من المصنع أو المنجم الواحدة فوق الأخرى ، كما كان اتجاهنا الأساسى نحو الإنشاءات هو تنسيق البلوكات تماماً كما يفعل الأطفال في ألعابهم . وقد انحصر اهتمامنا الأكبر في توصيل هذه الوحدات توصيلاً سليماً ، وأعرنا الوحدات ذاتها اهتماماً أقل ، راضين باقتناع عن خواصها الهندسية والإنشائية . وقد طورت تجربتنا بالخرسانة طرقنا ومبادئنا الأساسية . فهذه مادة يجب أن نشكلها ولا تتطلب عمل وصلات تسمح بخلق منشأ متماسك . وبعد محاولات وتجارب عديدة من السنين بالكمرات والأعمدة أصبحنا — كما أحب أن أصف — مخلوقات وحيدة الأبعاد . وقد جابهتنا الخرسانة بالمشكلة التى لا يمكن تخطيها ، وهى التفكير الثلاثى الأبعاد مع احتمال الوصول إلى طريقة إنشائية تهيئ استمراراً ذا اتجاهين على الأقل . وليس من المستغرب أن أغلبنا يشعر بعجزه أمام هذه المهمة ، فإن كمية الخلق والإبداع اللازمة لتحديد منشأ بالخرسانة أكبر بكثير من الكمية اللازمة لتجميع منشأ من الصلب .

والإنسان يختار ويتردد عندما يجد أمامه حرية زائدة . فأحسن القصائد كتبت على قواعد وحدود صارمة على الكلام والوزن — كما كتبت أفضل الموسيقى عندما فرضت الأصول الهارمونية على التأليف الموسيقى (Fugue) . وانعدام القيود على التصميم الخرساني كفيل بإزعاجنا وإنتاج أعمال غير مرضية على وجه عام .

النظرة التاريخية ستساعدنا على إيجاد الطريق السليم لاتباعه في التصميم الإنشائي بالخرسانة . وقارئ هذا الكتاب سيهره التطور البطيء لعمارة الخرسانة ، وإن يضحك كما فعلت عندما علمت أنه في التسعينيات بالقرن التاسع عشر صنعت في فرنسا عربات تجرها الخيل من الخرسانة على نفس النمط الذي صنعت به عربات الصلب أو الخشب . ومن ناحية أخرى سيعجب القارئ باكتشاف أعمال عباقرة كمثل مايار — وفرنسينيه — ونيرفى وآخرين من المهندسين الذين توافرت لديهم الشجاعة على ترك حلول مهيئة لمواد أخرى للبحث عن حلول جديدة تعبر بنجاح عن إمكانيات الخرسانة المسلحة .

والخرسانة — وقد خلقت ثورة في صناعة البناء — هي ككل الثورات قابليتها لمشكلات صعبة ما زلنا عاجزين عن حلها . من هذه المشكلات مسألة التعاون بين المعمارى والإنشائي والمقاول . وأمثلة هذا الكتاب تظهر بوضوح أن بعض المنشآت الخرسانية الممتازة هي من أعمال أفراد جمعوا بين صفات المعمارى والإنشائي والمقاول — من هؤلاء نيرفى وكاندلا وتورونجا . ولكن عندما يتحتم على المعمارى أن يتعاون مع الإنشائي والمقاول فإنه لا يجد في أغلب الأحوال لغة مشتركة ، فهو غير قادر على التعبير عن أفكاره للإنشائي بطريقة تسمح للإنشائي أن يهضمها ويناولها بدوره للمقاول . وفي أحوال كثيرة يكون عدم التفاهم راجعاً إلى رغبة المعمارى في الانفراد بتصميم المنشأ وبمجاهاة الإنشائي والمقاول « بحقيقة واقعة » . ومن أهم وأقيم الاقتراحات التي قد نستخلصها من هذا الكتاب هو أنه من المستحيل خلق منشأ جميل بالخرسانة بدون استعداد من المعمارى للتعاون المبكر مع الإنشائي والمقاول . وقد خرجت إلينا أحسن الأعمال في العمارة الحديثة كنتيجة للتعاون بين عبقرية الإنشائي والمقاول وهي ذات طابع تكنولوجي مع عبقرية المعمارى ذات الطابع الفني . والمنشأ جزء حيوي في أي مبنى خرساني بحيث يكون الحل الإنشائي السليم هو في أغلب الأحوال أكملها جمالا وأكثرها اقتصاداً .

وقد اهتم الدكتور رأفت في هذا الكتاب بأكثر من الدور الإنشائي للخرسانة ، غير أنه وضع بحكمة بالغة تركيزاً كبيراً على المنشآت ؛ لأنه يدرك أنه إذا كان المنشأ الخرساني معيباً فإن المبنى الذي يحمله لا يمكن أن يكون مبنى كاملاً . هذا الدرس يجب أن يعيه جميع المماريين الأمريكيين .

هناك أوجه أخرى عديدة لاستعمال الخرسانة تشمل احتمالاتها في الألوان وأشكالها البلاستيكية ،
وخواصها في العزل الصوتي ، مما يجعل من المستحيل إحاطتها كلها في كتاب واحد . ومن الواجب أن
نكون شاكرين للدكتور رأفت لمجاوبته المشكلات المنبثقة عن جميع الاتجاهات المتباينة للإنشاء
الخرساني ولتوضيحه المسائل والحلول المتاحة لنا في الحاضر . وإني على يقين أن عمله الحبيب سيدرس
بعناية من جميع من يقدسون في قلوبهم ازدهار عمارة جديدة .

ماريو سلفادوري
رئيس قسم الهندسة المعمارية
جامعة كولومبيا - بنيويورك
نيويورك ١٩٥٨

مدخل

بالمواد الأولية يقوم المعمارون بالخلق الفنى للفراغات المستعملة ، وتحكمهم فى هذه العملية الخواص الملموسة وغير الملموسة للمغلفات المادية . هذه الخواص تقترح ، وفى بعض الأحوال تفرض ، تنظيمات إنشائية ملائمة . والتنظيمات الإنشائية الجديدة عندما تستتب تخلق طرزاً معمارية خاصة . فالمصريون القدماء اتبعوا إنشاء حجرياً نقياً بالعمود والعتب ، والإغريق ابتدعوا «الجمالون» الخشبي . والرومان العقود الخرسانية . وقد خلق الإنشاء الهيكلي بالحجرتشكيلات العمارة القوطية ، وبالمواد القوية فى الشد والضغط تشكيلات العمارة المعاصرة .

والخرسانة المسلحة — وهى إحدى هذه الوسائل الأولية — نتاج للتطور التكنولوجى فى القرن التاسع عشر . وكما مادة معمارية تمتاز بإمكانيات خاصة ، فرغم أنها تشترك مع الطين الذى استعمله قدماء المصريين والميسابوتيميون ، ومع الخرسانة التى طورها الفينيقيون والرومان فى الخواص البلاستيكية ، إلا أنها تمتاز عنهما بقدرتها على تحمل قوى الشد . هذه الميزة تفتح للخرسانة المسلحة اتجاهات جديدة فى تشكيل الفراغات وفى التعبير المعمارى . وقد تحققت فعلاً مراحل من هذه الاتجاهات فى بقاع مختلفة من العالم .

والآن ، وعند نهاية القرن الأول من عمر الخرسانة المسلحة ، حان الوقت لكى نترى قليلاً لنرى أين نقف فى دورة نموها ؟ وأى الاتجاهات أخذنا ؟ وتحليل هذه الاتجاهات سيساعد بلا شك على تحديد إحساس بالاتجاه لمستقبل عمارة الخرسانة المسلحة * .

هذا الكتاب هو محاولة لتقديم وصف تحليلي للإمكانات والمشكلات الإنشائية والمعمارية الكامنة فى الخرسانة المسلحة . وقد خصص الجزء الأول لبحث المقدمات الأساسية اللازمة لهذا التحليل . هذه

* نحن فى حاجة إلى مثل هذه الوقفة نتيجة لعدم وجود تحليل حديث واف لعمارة الخرسانة المسلحة ، ويمكن لكل باحث إدراك ذلك بسهولة ، فالمكتبة المعمارية خالية من كتب تبحث فى هذا الاتجاه بعد عام ١٩٢٨ . وقبل هذا التاريخ ظهرت كتب قليلة ، أقيمها من وجهة نظر المؤلف ، كتاب الدكتور جوليوس فيشر ولودويج هيلبرزيمر ، ومن الأعمال المرموقة كتاب فرانسيس أولديردونك الصغير ١٩٢٨ وجيديون سنة ١٩٢٨ . ويمكن الرجوع لفهرس الكتب بخصوص المناوين . ومنذ ذلك التاريخ نوقش الموضوع جزئياً فى مقالات بالمجلات أو كتب ركزت على أمثلة أو اتجاهات معينة للتصميم .

المقدمات في الغالب ذات طبيعة تاريخية تكنولوجية إقليمية . والمعلومات الحالية عن المراحل الأولى لتطور عمارة الخرسانة المسلحة مملوءة بالمتناقضات والفجوات . وقد خصص الفصلان الأول والثاني لملاء بعض الفجوات ، وخاصة المتعلقة منها بدور المكتشفين الأمريكيين ، وكذلك لإزالة بعض الغموض والمعتقدات الخاطئة عن طريق ترتيب الاكتشافات الهامة في تسلسل تاريخي إقليمي متتابع . ونتيجة للانقسام الذي ساد التطورين التكنولوجي والمعماري في القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين ، فقد وجد أنه من الأوفق معالجة الاثنين كل على حدة .

كذلك عولجت التطورات الأخيرة في المواد وطرق التنفيذ والتصميم كعوامل تؤثر في الشكل العام لعمارة الخرسانة المسلحة . إلا أن عوامل أخرى مؤثرة في تغييرات محلية اعتبرت هامة وجديرة بالبحث في آخر أبواب هذا الجزء .

وقد بنيت طريقة معالجة موضوعنا الأساسي - وهو عمارة الخرسانة المسلحة - على مبدأ أن العمارة هي فن إقامة منشآت تخلق فراغات انتفاعية بأشكال على درجة عالية من الجمال الحسي والتعبيري . هذا التعريف يوجهنا إلى أقرب الطرق لمعالجة التحليل المقصود ، فعلياً أولاً : أن نتعرف ونميز التكوينات الإنشائية التي خلقتها الخرسانة المسلحة . هذه التكوينات تقودنا فعلاً إلى دراسة مدى تأثيرها في المعالجة المادية للفراغات التي تغلفها مثل هذه المنشآت . وفي الأبواب الأخيرة سنناقش الاحتمالات الجمالية لعمارة الخرسانة المسلحة .

ومع أن مثل هذا التقسيم للعمارة ولعناصرها يساعد في مرحلة التحليل النظري ، إلا أن عملية الخلق الفني من ناحية أخرى عملية متكاملة شاملة . والتحليل الحالي ولو أنه يذهب بعيداً في التحليل والتقسيم إلا أنه لا يهدف إلى محاولة وضع مواصفات ثابتة لعملية الإبداع الفني بالخرسانة المسلحة ، إذ أننا مهما رسمنا من اتجاهات عن طريق التحليل المنطقي والتجارب والملاحظات فسيظل جزء كبير من عملية الخلق المعماري خارج النطاق المرسوم المحدد خاضعاً للحكم الشخصي للمعماري الفنان ولقدرته على رسم طريقة بين المتغيرات والمتناقضات . هذا الحكم هو الذي يفرق معمارياً عن آخر ، ويجعل من العمارة فناً مبدعاً .

والدراسة الحالية تهدف في أساسها إلى رسم اتجاهات معمارية عامة للخرسانة قائمة على التحليل المنطقي المنبعث من طبيعتها كمادة ومدى إمكانياتها الإنشائية والجمالية المتطورة . كما يهدف في أساسه

إلى توعية مهنية بالاحتمالات الانتفاعية والإنشائية والجمالية للخرسانة كبائعة لعمارة جديدة — عمارة القرن العشرين . وإذا نجح هذا الكتاب في وقف استعمال الخرسانة كمادة مدفونة تحت طبقات من البياض ، أو خلف واجهات من الحجارة أو الطوب ، وفي دفع عجلة التطور ولو قليلا نحو عمارة فنية صريحة دائمة بالخرسانة المسلحة ، يكون قد حقق أغراضه .

دكتور على رأفت

القاهرة — ١٩٧٠

تقديم الطبعة الروسية*

تعتبر الخرسانة المسلحة من المواد الإنشائية التي تلعب دوراً رئيسياً في تحديد معالم العمارة المعاصرة . وعمارة الخرسانة المسلحة في تطورها تسير على طريق إظهار الناحية الجمالية للتكوين الإنشائي للمبنى وتحريره من القيود التي كانت تتحكم في تشكيله . هذه الحرية أعطت المصمم مجالا واسعا ليختار الشكل الذي يلائم وظيفة المبنى .

وقد مضى هذا العهد الذي عاصر تقليد المصممين بالخرسانة المسلحة لمباني الطوب أو الأحجار أو الخشب . وبرزت الخرسانة المسلحة اليوم كمادة إنشائية لها تعبيرها الفني الخاص بها ، وأصبحت كالعجين يتشكل حسب إرادة المصممين .

والخرسانة المسلحة تمكنا من خلق أسطح انسيابية غنية بلمسها ، كما في المنشآت الفراغية ، أو أسطح حادة الزوايا ، كما في المباني الجاهزة . هذه الأسطح — برغم بساطتها — ذات طاقة جمالية كبيرة .

وتطور استعمال الخرسانة المسلحة في البناء أوجد قيماً جمالية جديدة في عالم الشكل . هذه القيم لم تكن من وحي المعمارين وحدهم ، ولكن شاركهم في خلقها المهندسون الإنشائيون الذين قدموا لنا أعمالاً خالدة نعتبرها قمماً في عالم العمارة والجمال .

ولقد كان للتعلم في دراسة خصائص الخرسانة المسلحة وسلوكها تحت تأثير الأحمال المختلفة ، وكذلك خصائص المنشآت الخرسانية أثر كبير في تحديد المفهوم الجمالي لهذه المادة الجديدة ومن هذه الدراسات كتاب نيرثي « البناء بطريقة صحيحة » ، وهو يعالج الخصائص الجمالية للمنشآت ، في حين يعالج المهندس الإسباني « قروخا » في كتابه « فلسفة الإنشاءات » هذا الموضوع بطريقة أخرى . وكذلك فإن كتاب أوتو فراي عن « المنشآت المعلقة » لا يقتصر على وضع النظريات الرياضية لحساب هذه المنشآت ، بل يتعداها إلى إظهار قيمها الجمالية . كما نجح المهندس دشينجر وموراندي — من

* كتب التقديم الدكتور كيرا كارتاشوف أستاذ العمارة بكلية نظريات العمارة — أكاديمية العمارة والإنشاء بموسكو وقام بالترجمة مشكوراً الدكتور بهاء بكري المدرس بقسم العمارة جامعة القاهرة .

خلال حلولهما لكثير من المشكلات الإنشائية — في استنباط أشكال معمارية جديدة .
وفي الفترة الأخيرة نلاحظ تطوراً كبيراً جداً في تصميم الأسقف المشابهة للأشكال العضوية التي
تكونت خلال أحقاب طويلة . ومنها نرى الصدقات الحلزونية ومنشآت على شكل نسيج العنكبوت
الرقيق وعلى شكل عروق الأوراق النباتية أو الفقايع . ومع كل هذا التطور فما زلنا — كما يقول المهندس
تروخا — في بداية استغلال بعض هذه الإمكانيات .

والكتاب الذي أقدمه للقراء الآن للمهندس المصري الشاب على أحمد رأفت . وقد حصل على رأفت
على البكالوريوس في العمارة من جامعة القاهرة عام ١٩٤٩ ، وأرسل في بعثة دراسية عام ١٩٥٢ إلى
الولايات المتحدة . وحصل على الماجستير في العمارة عام ١٩٥٣ من جامعة متشيجان ، وحصل على
الدكتوراه في عام ١٩٥٧ من جامعة كولومبيا . وعلى أساس هذه الدكتوراه وضع هذا الكتاب . وفي
الولايات المتحدة كان على رأفت على اتصال وثيق بجميع الممارسين الإنشائيين المتخصصين في مجال
الحرسنة المسلحة ، وعلى وجه الخصوص عمل رأفت مع الأستاذ ذائع الصيت لدينا هنا في روسيا ماريو
سلفادوري أستاذ العمارة في جامعة كولومبيا .

والموضوع الذي يعالجه الكتاب لا يوجد به كتب متخصصة ، إلا أنه عولج في كثير من المقالات
بواسطة مهندسين كفيلين صمويل وماريو سلفادوري وكاندالا وليسيج Lessig وغيرهم . أما في
الاتحاد السوفيتي فقد نشرت في الفترة الأخيرة عدة مقالات في مجلة « العمارة في الاتحاد السوفيتي »
(Architecture of U.S.S.R) كما نشر كتاب عن المنشآت الفراغية الحرسانية للمهندس م . ا . بلاكيد
(M. A. Plaked) وكذلك كتاب العمارة وطرق الإنشاء عام ١٩٦٠ .

والكتاب يتميز أولاً وقبل كل شيء بتسلسله الطبيعي في معالجة الموضوع مبتدئاً بتطور الأشكال
الإنشائية من نظام العمود والكمرة إلى المنشآت الفراغية ، مع نقد هذه الأشكال من وجهة النظر
المعمارية . والكتاب يعالج بدقة إمكانيات الحرسنة المسلحة كمادة من مواد البناء وإمكانياتها
الإنشائية والجمالية ، وكذلك الخصائص الجمالية للأسطح الحرسانية ، من ناحية طبيعة السطح ذاته
وألوانه مع دراسة تأثير الشدات المختلفة . وبجانب هذا يعالج المؤلف خصائص المواد التي تتكون منها
الحرسنة المسلحة وطرق إقامة منشآتها .

وفي اللمحة التاريخية لتطور الحرسنة المسلحة تضمن الكتاب معلومات جديدة عن استعمالها في
الولايات المتحدة الأمريكية ، وكذلك التجديدات التي طرأت عليها في الفترة الأخيرة .

وهنا يجب أن نلاحظ أن المؤلف — مأخوذاً بإمكانيات الخرسانة المسلحة — قد بالغ بعض الشيء في تأثير هذه المادة الجديدة في خلق طراز معماري حديث .

فالطراز المعمارى من وجهة نظرنا يتكون أولاً وقبل كل شيء تحت تأثير العوامل الاجتماعية السائدة في كل عصر . والطراز المعمارى يتبلور نتيجة لعوامل وظيفية وجمالية واقتصادية ، وعلى أساس من التقدم التكنولوجى لعملية البناء ذاتها . فإن أى شكل جديد في تطوره من الأشكال التراثية ، التى ترجع أصولها للمواد التقليدية ، إلى الأشكال الجديدة يمر بمرحلتين : الأولى يتم فيها إرساء القواعد الإنشائية والاقتصادية لهذا النوع الحديد من المنشآت ، والثانية تظهر فيها الخصائص الجمالية المختلفة النابعة من طبيعة المادة الجديدة ؛ ففي المرحلة الأولى تسيطر الناحية الإنشائية في المبنى على الشكل المعمارى الذى يكون صريحاً ومنطقياً مع الإنشاء ذاته . وبعد ذلك يخضع الشكل الإنشائى للشكل المعمارى ويختفى تحت الزخارف والحشوات .

والكتاب غنى بالاستكشاف والصور الفوتوغرافية . ومع أن معظم الأمثلة معروفة للوسط المعمارى عندنا إلا أن تجميعهم بهذه الطريقة الفريدة يمكن القارئ من استيعاب الأبعاد الكبيرة والإمكانات غير المحدودة للأشكال التى تخلقها الخرسانة المسلحة .

والكتاب ، وإن كان يعكس الدور الكبير الذى تلعبه الخرسانة في تشكيل العمارة المعاصرة في الولايات المتحدة بشكل خاص ، إلا أنه محدود في معالجة هذا الموضوع في العمارة الأوروبية ، وخصوصاً في السنوات الأخيرة . ومع أن الخرسانة المسلحة تعتبر المادة الأساسية في البناء في الاتحاد السوفيتى إلا أن المؤلف لم يتعرض مطلقاً للتجربة السوفيتية ؛ ففي السنوات الأخيرة أقيمت عدة منشآت قشرية من الخرسانة المسلحة السابقة الصنع والمزدوجة الانحناء لتغطية أبهاء « صالات » بمقاسات ١٨ م × ١٨ م ، ٤٠ م × ٤٠ م ، ١٠٠ م × ١٠٠ م في مدن ليننجراد و ييريقان (Yerivan) وباكو (Bako) وتيبيليسى (Tebelcy) وموسكو . كما لم يتعرض الكتاب لأعمال المهندسين فريسنيه ودبشينجر اللذين عابجا بعمق موضوع البناء بالخرسانة وتطوره في المستقبل القريب .

وكذلك لا نعرف لماذا لم يعالج المؤلف موضوع المنشآت المعلقة بالخرسانة المسلحة ، وأذكر هنا على سبيل المثال إستاذ مدينة مونتيفيدو في أرجواى . وفي هذا المقام يجب أن أذكر أن هذا النوع من المنشآت المعلقة يستعمل الخرسانة والحديد في أحسن وجه من الناحية الإنشائية ، ويخلق في نفس الوقت

نوعاً جديداً من المنشآت ذات شخصية معمارية جديدة وإمكانيات لم تمس بعد في مجال التكوين المعماري . ففي هذا النوع من المنشآت يندمج شكل السقف مع التصميم الداخلي للمبنى في وحدة معمارية متكاملة . والمسقط الأفقي لهذا النوع من المباني والذي يتميز بخطوط منحنية يكون انعكاساً طبيعياً لاستخدام هذا الإنشاء المعلق .

هذه المنشآت المعلقة خلقت أشكالاً جديدة ؛ فمنها ما هو منحني في اتجاه واحد — كما في حمام السباحة في فوبرتال بألمانيا الاتحادية — ومنها ما هو ذو انحناءين بنفس الإشارة — كسقف إستاد مونتشيديو بأورجواي ومشروع تغطية إستاد دينامو في موسكو ، ومنها ذو الانحناءين مختلفي الإشارة كما في سقف حلقة رالي بكارولينا الشمالية و « صالة » شقارتسفال في كارلسروه بألمانيا الاتحادية .

وتلخيصاً للقول يمكن أن نقول إننا نشهد فجراً جديداً لنوع من المنشآت يحمل في طياته إمكانات لا حدود لها في تغليف الفراغ المعماري .

والكتاب يمكن أن نعتبره وصفاً لنوع واحد من المنشآت الفردية ؛ وهي المنشآت المصبوبة على الموقع أو نصف المجموعة . أما المنشآت الإسكانية الجماعية والتي تستغل الخرسانة المسلحة الجاهزة كمادة رئيسية فلم تلق المعالجة المطلوبة في الكتاب . وفي الحقيقة أن هذا النوع من المنشآت قد أصبح يستعمل بكثرة في كثير من البلاد الأوروبية ، وبخاصة في فرنسا وإنجلترا وتشيكوسلوفاكيا . وفي الاتحاد السوفيتي تعتبر الخرسانة الجاهزة المادة الرئيسية في الإنشاء ، ويمكن أن يتضح هذا من الأرقام المذكورة بالجدول التالي :

١٩٦٥	١٩٦٠	١٩٥٨
كمية الخرسانة المسلحة المستخدمة في الإنشاءات عموماً (بملايين		
٨٨,٧	٥٧,٧	٤٣,٥
الأمطار المكعبة)		
٥٧,٠٠	٣٠,٤	١٨,٥
كمية الخرسانة المسلحة الجاهزة		

وإن البحوث والتجارب التي تقوم بها الكليات ومراكز البحوث في الاتحاد السوفيتي أتاحت لنا الفرصة في إيجاد أنواع محددة من الوحدات الإنشائية ، والتي شاع استعمالها حتى في المباني ذات الاستعمالات المختلفة . وكذلك فإن مشكلة إعطاء المنشآت المجموعة القوة والمتانة اللازمتين أصبحت ميسرة هنا نتيجة للتطور الكبير في طرق لحام وتثبيت الوحدات بعضها ببعض .

واللجوء إلى بناء المباني من الخرسانة الجاهزة التي تصنع تحت ظروف محددة في المصنع قد أعطانا إمكانيات كبيرة في استغلال هذه المادة استغلالاً اقتصادياً . فالיום انتشر في الاتحاد السوفيتي إنتاج «البانوهات» الخائطية الخفيفة من أنواع جديدة من الخرسانة ، وكذلك إنتاج الأجزاء الإنشائية مثل الكمرات و «الجمالونات» من الخرسانة السابقة الإجهاد التي يستعمل فيها نوع جديد من الحديد ، وهذه تستعمل بكثرة في بناء المنشآت الصناعية . كل هذا يفتح المجال أمام تحديد معالم نوع جديد من العمارة .

وكتاب على أحمد رأفت بشكل عام ذو أهمية خاصة للمهندسين والفنيين بما حواه من مادة غزيرة وآراء جديدة حول عمارة الخرسانة المسلحة .

الدكتور كيرا كارتاشوف

أستاذ العمارة في كلية نظريات العمارة - موسكو

أكاديمية العمارة والإنشاء

لقد تفضل البروفسور كرتاشوف مشكوراً بكتابة مقدمته للطبعة الروسية عام ١٩٦٣ ؛ أى بعد ظهور الطبعة الأمريكية بخمس سنوات تقريباً. والمؤلف يوافق البروفسور على رأيه بقصور الطبعة الأمريكية بالنسبة للأمثلة الروسية بصفة خاصة ؛ وذلك لقصر الإمكانيات المتاحة في أمريكا عن مراحل التقدم الروسى في المجال العلمى . وقد راعى المؤلف تدارك هذا النقص في الطبعة العربية الحالية . وبخاصة فيما أشار إليه البروفسور كرتاشوف بالنسبة للبناء بالوحدات الخرسانية الجاهزة . وقد حاول المؤلف استعراض وتصنيف المحاولات الأوربية والروسية في هذا المجال الحيوى من الناحية الإنشائية وتأثير هذا النوع من الإنشاء في التصميم المعماري للفراغات الواسعة ولل فراغات المحدودة المتكررة .

أما فيما يتعلق بملاحظات البروفسور كارتاشوف عن الإنشاء المعلق فالمؤلف يوافق على رأيه من حيث أهمية هذا النوع من الإنشاء ، وبخاصة بالنسبة لتطوراته المستقبلية . ولا جدال في أن هذا الإنشاء سيحتل مكانة بارزة في مجال التسقيف المعماري للفراغات الواسعة لما يمتاز به من خفة في الوزن وبخاصة بعد ما أدخل عليه من تحسينات لمنع الاهتزازات الأيرو ديناميكية . وفي الحقيقة فالدور الذي تقوم به الخرسانة المسلحة في هذه الأسقف دور محدود . فالأسقف المعلقة — بصفتها أسقفاً معرضة أساساً لإجهادات الشد — لا تتناسب مع طبيعة الخرسانة المسلحة كمادة انضغاط . فإجهادات الشد الأساسية في الأسقف المعلقة تعادلها الأسلاك الصلب المشدودة . ودور الخرسانة المسلحة هنا في توفير هياكل أو عقود أو حلقات الانضغاط المحيطية . كما أنها تلعب دور الأسطح المغلفة المعلقة على الأسلاك الصلب . وفي بعض الأمثلة لعبت « البانوهات » الخرسانية المعلقة دوراً في تثبيت السقف ومقاومة الاهتزازات الأيرو ديناميكية ، كما في الأمثلة التي لم تغفلها الطبعة الأمريكية للكتاب عن سقف إستاد مونتفيدو ومعسكر جامعة كولومبيا .

الجزء الأول

دورة النمو

المحاولات الإنشائية الأولى لاستعمال الخرسانة المسلحة

الأحداث السابقة :

يمكن أن نرجع ظهور الإنشاء بالحرسانة المسلحة إلى ثلاث مقدمات هامة :

إعادة اكتشاف الحرسانة

إنتاج « الأسمنتات » الصناعية .

إدخال الحديد الزهر في صناعة البناء .

وإن نظرة سريعة إلى هذه العوامل سوف توضح لنا الظروف التي أدت إلى المحاولات الإنشائية الأولى لاستعمال الحرسانة المسلحة .

إعادة اكتشاف الحرسانة :

استعملت الحرسانة على نطاق واسع في العمارة الرومانية في الحوائط والأسقف ، ثم اختفت تقريباً في القرنين السادس عشر والسابع عشر وأوائل القرن الثامن عشر^(١) ، رغم ورود ذكر الأحجار الصغيرة المخلوطة بالمونة لإنتاج كتلة صلبة متماسكة في كتابات فيثروفيوس (Vitruvius) ، وكرر ذكرها مؤلفو عصر النهضة ، ومنهم البرتي (Alberti) ، وبالاديو^(٢) (Palladio) والسبب في هذا الاختفاء الغريب هو الاعتقاد السائد في ذلك الحين ، بأن الأحجار المنتظمة الظاهرة هي المادة النبيلة الوحيدة الجديرة بالاستعمال في المباني الهامة ، وكذلك عدم كفاية مونة الجير كمادة رابطة لأحجار صغيرة غير منتظمة .

ومع ذلك فإننا نرى ابتداء تصدع هذا المبدأ قبل الثورة الفرنسية ، حين نجد بعض مباني عصر لويس السادس عشر مبنية بالدبش المروم ، ومكسوة بالبياض المقلد لمباني الحجر المنتظم سعياً وراء الفخامة بأقل التكاليف . وقد فتح هذا الاتجاه الطريق أمام استعمال مواد أخرى عدا الأحجار المنتظمة . وفي الفترة التالية للثورة الفرنسية نجد أن الكتب المعمارية قد أعطت اهتماماً زائداً للطريقة الرومانية للبناء بالحرسانة ونصحت باستعمالها^(٣) .

وقد جاء استعمال الحرسانة المسلحة على نطاق واسع عن طريق مادة أخرى أقل قيمة هي الطين (Pisé) ، وهذه المادة كانت مستعملة في مناطق من إنجلترا ، مثل لانكشير وهدفورد شاير (Lancashire & Bedfordshire) ، كما كانت استعمالاتها واسعة في إسبانيا منذ أيام الرومان . وفي فرنسا انتشر استعمالها في منطقة ليون حيث أصبحت الطريقة الوحيدة لبناء قصور التجار الأغنياء الذين يغطونها بالفرسكو ، كما بنى بها الفلاحون وغطوها بالجير الأبيض . وأهمية المباني الطينية في تطور الحرسانة ليست في المادة نفسها ، بل في طريقة الإنشاء ، حيث كانت تستعمل الصليات الخشبية المنزلقة بين قوائم خشبية رأسية . وبهذه الطريقة يصب الحائط بالشكل المطلوب .

وكان التطور الطبيعي لهذه الطريقة هو أن يمزج مع الطين مادة رابطة أقوى ، كما يضاف ركام صلب (aggergate) ليكون الناتج خرسانة عادية .

ومن المشروعات الأولى التي استعملت فيها الخرسانة مشروع المهندس جون سميتون - وهو من أعظم مهندسي القرن الثامن عشر بإنجلترا - للهويس الأول على نهر كالدر (Calder) عام ١٧٦٠*^(٦) . وحوايط هذا الهويس مزدوجة من الحجر ، في حين ملأ الفراغ بينها بالخرسانة التي هدته لها زيارته لقصر كورف (Gorf) بجزيرة پربياك (Purbeck) . وتتكون الخرسانة التي استعملها سميتون من ثمانية أجزاء من الركام الرفيع أو الحصى ، وعشرة أجزاء من المونة التي تتكون من جزأين من مطحون حجر الحديد المؤكسد المهزوز (Ground Minion) ، وأربعة أجزاء من الجير (Barrow Lime) ، وأربعة أجزاء من الرمل ، وهي نفس المونة التي استعملت في الحوايط . وقد كان هذا الاستعمال الجدي للخرسانة ، أو هذه المونة ذات الركام الرفيع ، والتي أوحى بها قصر كورف ، بداية لاستعمالها المتزايد خلال القرن التاسع عشر في المشروعات الصغيرة والكبيرة .

بدأت خرسانة سميتون تليقبولاً حسناً في إنجلترا في أوائل القرن التاسع عشر ، وبالتدريج بدأت الخرسانة الجيرية تحل محل الحوازيق الخشبية في الأساسات ، ونرى ذلك في أعمال سير جون سون (Sir John Soane) في أغلب المباني العامة بوستمنستر (Westminster) ، مثل دار القضاء ، والمباني الإضافية بمجلس اللوردات ، ومكتبة مجلس العموم ، ومكاتب الغرفة التجارية ومجلس المستشارين وغيرها . كما استعملت الخرسانة في بلوكات سابقة الصنع ، وفي الحشوات والأسقف المضادة للحريق . وقد كان استعمال البلوكات الخرسانية مفيداً في إعطاء الثقة بالمادة الجديدة . وقد وصف مستر جورج جودوين (Goodwin) في رسالته عن الخرسانة^(٧) استعمال بلوكات رانجر (Ranger)** في مسكن سير إدوارد كودرينجتون (Sir Edward Goddington) في برايتون (Brighton) سنة ١٨٣٦ ، كما استعملت في بناء كلية الجراحة (١٨٣٥ - ١٨٣٦) ، وفي بيت الحراسة بحديقة سان جيمس بارك بلندن . وفي فرنسا كان من أوائل المستعملين للخرسانة (Beton) بناء عبقرى اسمه فرنسوا كونترو

* تأكيد بحفريد جيديون ، المؤرخ المعروف ، بأن أول استعمال للخرسانة بواسطة سميتون كان في أساسات منار اديستون سنة ١٧٧٤^(٤) ليس صحيحاً كما تدل على ذلك كتابات سميتون الخاصة ، وفيها يقول إن المنار المذكور بني من الصخر الطبيعي . أما بالنسبة للمونة فقد قال عنها سميتون « لقد قررت أن تتكون المونة من مزيج من الجير والبوتزلانا (Pozzolana) بكميات متساوية^(٥) »

** ظهرت بلوكات رانجر باسم « أحجار رانجر الصناعية » المسجلة عام ١٨٣٢ .

(F. Cointeraux) ، استعملها لتطوير المباني الطينية لبناء مساكن الفلاحين المضادة للحريق . وفي كتاباته اقترح البناء بحوائط مملوءة (Corrugated) ، كما اقترح في تقريره نشر في نهاية القرن الثامن عشر^(٨) استعمال الخرسانة «لخازن الغلال الأرضية التي تقلد شكل البيضة»^{*} . وتبعه المعماري فرانسوا مارتان لبرون (Francois Martin Le Brun) ^{**} وكان يعمل في مونتوبان (Montauban) وقد بنى بالخرسانة منزلاً لأخيه في مارساك (Marssac) بجوار ألبى (Albi) سنة ١٨٣٢ . وقد استعمل الخرسانة في كل جزء من الحوائط والأرضيات والسلم الخارجي ، كما كان سقف الدور الأرضي والسقف العلوي من عقود خرسانية بحرها ١٨ قدماً ، ٢١ قدماً بالتوالي . أما الطابق المتوسط فكان من عقود خرسانية صغيرة بين كمرات خشبية . وجميع العقود والزخارف على الواجهة مصبوبة على الموقع في شدة خشبية خاصة وجميعها عملت مرة واحدة ، وليست على مراحل من ارتفاعات قصيرة ، كما هو الحال في مباني الطين ، كما تركت تحت العقود لمدة شهر قبل رفعها . ونظراً لنجاح هذه العقود قرر لبرون استعمال نفس الطريقة لإنشاء عقود أكبر بالخرسانة فأنشأ سقفاً لخازن أرضية لدار بلدية مدينة جايك - تارن (Gaillac-Tarn) . والعقد عرضه ١٠ أقدام وطوله ٦٠ قدماً ، وقد بنى على شدة من الطين رفعت بعد ٤ أشهر . وفي سنة ١٨٣٤ بنى من الخرسانة مدرسة من طابق واحد لمقاطعة سانت أنيان (St. Agnan) بجوار تارن وجارون (Tarn et Garonne-Castel Sarrazin) . وقد صممها على أن يستعمل لها عقداً خرسانياً للسقف ، ولكنها نفذت بالطريقة المعتادة لأن عمدة المدينة فكر في احتمال امتدادها للدور الثاني^(٩) . وقد ابتداء لبرون أكثر مشروعاته جرأة في سنة ١٨٣٥ حين أعجب به عمدة تارن وجارون وكلفه بعمل كنيسة بروتستانتية لمقاطعة كورباريو (Corbarieu) وقد كان الهدف اقتصادياً . وقد تمت مساقط الكنيسة في ٢٠ مارس سنة ١٨٣٥ ، وهي عبارة عن مستطيل بطول ٥٨ قدماً و ٨ بوصات وعرض ٢٦ قدماً و ٨ بوصات وبحوائط خرسانية سمك قدمين و ٤ بوصات . وقد غطيت الكنيسة أولاً بعقد خرساني ولكن شديداً حدثت فيه فاستبدل به سقف خشبي .

* هذا الاقتراح بالخرسانة معاصر لتصميمات المهندس الفرنسي بوليه (Boullee) لمباني خيالية لدار أوبرا ومتحف وقبة فلكية لنيوتن وغيرها مستعملاً أشكالاً منحنية على شكل قباب لقطاعات رفيعة للغاية بدون تحديد لمادة الإنشاء^(٩) . هناك احتمال يحتاج إلى تأكيد علمي في أن بوليه تخيل الاحتمالات المهارية المستقبلية لاقتراح كونثرو فجاوت تصميماته ذات صلة كبيرة بأشكال الخرسانة المسلحة .

L.G. Vicat, "Experimental Researches into building Limes, Concretes and Ordinary Mortars"

** اهتم لبرون بالخرسانة بعد قراءته لكتاب

وقد تبع لبرون مدير لمصنع كيماي يدعى فرانسوا كونييه (F. Coignet) وقد كان له الفضل في نشر هذه المادة الجديدة ، لما امتاز به من صفات الصبر والجلد وخبرة في الدعاية . وقد بنى مصنعاً كيماوياً في سانت دنيس بجوار باريس سنة ١٨٥٢ أو سنة ١٨٥٣^(١١) . وقد استعمل الخرسانة للحوائط والعقود والسلالم والأعتاب ، كما استغنى عن استعمال الأحجار أو الطوب حول الفتحات ، كما كانت العادة في مقاطعة ليون . وقد قام كونييه بعدة تجارب للحصول على خرسانة أقوى وذلك باستعمال كمية مياه أقل ، كما توصل إلى مكتنة تدار بثمانية أحصنة لخلط الخرسانة القليلة المياه . وقد صمم كونييه على تجربة الخرسانة الجديدة فبنى لنفسه منزلاً أمام مصنعه في سانت دنيس عام ١٨٥٣ . هذا المنزل له أهمية تاريخية خاصة ، لأنه يعتبر المحاولة الأولى لاستعمال الخرسانة في بناء واجهات مزخرفة بكرانيش وحليات وأسوار . ولم يستعمل الخشب إلا في الأرضيات حيث دفنت الكمرات الخشبية في الخرسانة ، كما استعملت كمرات حديدية في السقف العلوي لتقوية الخرسانة . وما زال المنزل مستعملاً إلى اليوم .

وقد استخرج كونييه براءتي اختراع للخرسانة سنة ١٨٥٥ احتفظ لنفسه منها بحق استعمالها الخمس عشرة سنة تالية . وفي الاختراع الأول شرح احتمالات عمل الخرسانة بمواد رخيصة (Béton Economique) وشرح في الثاني طرقه للبناء بالخرسانة . ثم عدل الأول بملحق في ١١ ديسمبر سنة ١٨٥٥ ، وفيه أكد أن الحوائط الخرسانية لا تحتاج إلى أي كسوة ، لأن في الإمكان صبها مع عمل جميع الزخارف في الشدة ، وهذه تنطبع بالتالي على الخرسانة ذاتها .

وقد استمر كونييه في استعمال الخرسانة فبنى منزل ناظر محطة سوريسن (Suresnes) على سكة حديد فرساي سنة ١٨٥٥ ، وفيه استعمل الخرسانة في كل أجزاء المنزل من قمته إلى أساسه ومخازنه وعقوده وبلاطاته وحوائطه وسقفه العلوي الذي أخذ شكل القبة . كما استعمل عقداً بحره ٤٦ قدماً و ٨ بوصات وسمكه قدم و ٤ بوصات عند القاعدة و ١٠ بوصات عند الرأس في المنزل المشهور الذي بناه في شارع بواسنيير (Poissonniers) في سانت دنيس سنة ١٨٥٦ . كما تنبأ كونييه بإنشاء القبوات بالخرسانة ببجور غير عادية ، وكذلك الأسقف المستوية ذات البحور الواسعة لتغطية المسارح . وقد أتيحت لكونييه الفرصة الوحيدة لعرض إمكانات الخرسانة في المباني العامة في كنيسة لقيسينيه (Le Vésinet) عام ١٨٦٢ مع معماري غير مرحب بالإنشاء الخرساني هو لويس شارل بوالوه (Louis-Charles Boileau) والكنيسة ما زالت قائمة (شكل ٢٨) . كما بنى بالخرسانة عمارة من ستة طوابق بباريس عام ١٨٦٧ وفنار

بورسعيد في نفس السنة بارتفاع ٦٥ متراً . ويعتبر كونييه بحق ، الرجل الذي أرسى قواعد الإنشاء الخرساني في العصر الحديث . . .

وفي الولايات المتحدة لم يهتم الإنشائيون في القرن التاسع عشر بإمكانيات الخرسانة ، رغم كونها مسرحاً لتطورات هامة لاحقة في التسليح . وقد بدأ استعمال الخرسانة حوالى منتصف القرن التاسع عشر ، ويتبين لنا ذلك في كتابات الصحفي الأمريكي هوراس جريللي (Horace Greeley) وهو باني أقدم بناء معروف بالخرسانة في أمريكا ، إذ يقول في مذكراته التي نشرت عام ١٨٦٨ « البناء بالخرسانة مازال مستحدثاً ، وقد كان نادراً من عشر سنوات . عندما بنيت حظيرتي . ويمكنني الآن أن أبني أحسن وأرخص ، ولكنني سعيد لأنه ليسن لي حاجة لذلك . وأنا أقدر أن هذه الحظيرة ستكون قائمة ونافعة لمدة طويلة بعد أن ينساني الناس ، ولو كنت وضعت اسمي على واجهتها لظل باقياً يشرفني كبناء طويل بعد أن يزول له أي معنى آخر » (١٢) .

ولقد بنى هوراس جريللي حظيرته سنة ١٨٥٨ في شابكوا (Chappaqua) بولاية نيويورك من الخرسانة التي كونها كما قال : « من أحجار جمعت من المنحدرات القريبة ، ووضعت في صندوق مع مونة مكونة من جير قليل ورمل كثير تملأ الفراغات وتربط الجميع في كتلة واحدة حتى تصير حوائط كصخرة طمأة » (١٣) . وقد تحولت الحظيرة إلى منزل من ثلاثة أدوار ما زال قائماً كأثر لبنائه الأول .

تطور « الاسمنتات » الصناعية ما كان في الإمكان التطور السريع للخرسانة وإضافة الحديد إليها ما لم يصحبه اكتشاف ثان حدث في نفس الوقت وهو ظهور « أسمنتات » صناعية قوية لازمة لتحل محل الجير في لصق الركام الصغير وجعله كتلة واحدة متماسكة .

لم تكن مجرد مصادفة أن يكون المهندس الإنجليزي سميتون مكتشف الخرسانة ، هو في نفس الوقت أول من أنار الطريق الصحيح إلى تكوين الأسمنتات الحديثة لأهمية كل منها للأخرى وذلك حين قال . . « الجير النقي الذي يحتوي على أكبر كمية من أملاح الكالسيوم يعطي أحسن النتائج لأغراض الزراعة ، ولنسب أو لآخر عندما يخلط الجير خلطاً جيداً بنسبة من الطين (الذي يتحول بالحرق إلى طوب) فإنه يعطي قوة أكبر كأسمنت . وهذا يوحى إلى بفكرة . . أن إضافة وخلط الطين مع الجير بالطريقة التي ذكرت من قبل يصبح الناتج صالحاً للاستعمال في المباني المائية » (١٤) .

وقد أجرى سميتون تجارب بجادة على هذا الاكتشاف وتبعه پاركر (Parker) الذي اكتشف

«الأسمنت الروماني» في سنة ١٧٩٦. وقد قام باركر بطحن بعض الأحجار المحروقة أو المنتجات الطينية المسماة «شعيرات الطين» (Noodles of clay). وفي عام ١٨١٣ قام «فيكات» (Vicat) بحرق خليط من أنواع ونسب مختلفة من الطين والجير. وفي نفس الاتجاه وصل فروست (Frost) إلى «الأسمنت الإنجليزي» سنة ١٨٢٢. ثم تبعه أسبدن (Aspdin) بصنع الأسمنت البورتلاندي (Portland Cement) سنة ١٨٢٤. هذه «الأسمنتات» ماهي إلا جير، أي (hydraulic Limes) لأن ما يحدث للمخلوط هو «تكلسه» وليس تحجره وسحقه بالحرارة.

وقد بدأ إنتاج الأسمنت البورتلاندي كما نعرفه بواسطة أسرة أسبدن (Aspdins) في ويكفيلد (Wakefield) وجيتسهيد (Gateshead) بإنجلترا. وقد كانت الزيادة الضخمة في التصنيع والطلبات المتزايدة على الأسمنت سبباً في التطور السريع في صناعته. وبعد بحوث طويلة نجح مستر جونسون (L.C. Johnson) مدير شركة وايت وأولاده (Messrs. Whites & Sons) في سوانسكومب بكننت (Swanscombe, Kent) في سنة ١٨٤٥ في الوصول بمزيج الجير والطين إلى قرب التزجيج (Vitrification). وبعد طحن المزيج نتج نوع من الأسمنت أفضل بكثير من الموجود في ذلك الوقت. وبهذه التحسينات وغيرها أثبت الأسمنت البورتلاندي تفوقه، وابتدأ إنتاجه على نطاق واسع في إنجلترا وغيرها من البلاد. واستمرت التطورات في تفاصيل صناعته وإنتاجه. ومن بين هذه التطورات طريقة جورهام (Goreham) لطحن الخلطة بأحجار الطواحين (Burr stones)، وطريقة توماس كرامبتون (T. Grampton) لحرق الأسمنت البورتلاندي وغيره من «الأسمنتات» في الأفران الدائرية، وطريقة ستوكس (T.W.S. Stokes) لتجفيف الروبة (Slurry) بتمرير غازات ساخنة من الفرن الدائري خلال أسطوانات دائرية وعلى محيطها تمر الروبة وطرق هاري وسمان (E.H. Hurry & H.J. Seeman) لتحسين طريقة تبريد الكلنكر. كل هذه المحاولات والتجارب أدت إلى التقدم الهائل في قوة الأسمنتات الصناعية.

تطور الحديد الزهر :

الاكتشاف الثالث الذي أدى إلى ظهور الخرسانة المسلحة هو إدخال الحديد الزهر في الإنشاء. وقد ظهر ذلك لأول مرة في «الكوبري» الذي أنشأه إبراهيم دربي الثالث على نهر (Savern) بإنجلترا سنة ١٧٧٥ - ١٧٧٩^(١٥) وذلك بعد خمسة عشر عاماً من استعمال جون سميتون للخرسانة في هويس نهر كالدر. ولقد خطا الحديد الزهر في تطوره خطوات سريعة إلى أن أخذ مكاناً هاماً في العمارة الصناعية والتجارية في القرن التاسع عشر. وقد كانت بداية استعمال الحديد الزهر مع الخرسانة في أوائل القرن

التاسع عشر في المباني ذات الطبقات المتعددة والإنشاء الهيكلي المبنية بطريقة وات و بولتون (Watt and Boulton) في محالج قطن فيليب ولي (Phillip & Lee) في سالفورد (Salford) بمانشستر عام ١٨٠١^(١٦). ويعتبر المحالج أول استعمال لكمرات الحديد على شكل (I) المحملة على أعمدة أسطوانية، وقد استعملت الخرسانة في تسوية سطح عقود الطوب المكونة للأسقف (شكل ١).

لم ينتج عن استبدال الكمرات الخشبية بأخرى حديدية في أوائل القرن التاسع عشر مناعة كافية ضد أخطار الحريق، فأتجه التفكير إلى إحاطة الكمرات الحديدية بالخرسانة. وقد استعمل الدكتور فوكس (Dr. Fox) وهو مهندس إنجليزي عام ١٨٢٩ الخرسانة في الأسطح ليملاً الفراغات بين الكمرات الحديدية وسجلها في براءة اختراع عام ١٨٤٤^(١٧) (شكل ٢). ثم بنى المهندس الأسكتلندي وايم فيربيرن (W. Fairbairn) بمانشستر مصفاة ذات ثمانية أدوار في سنة ١٨٤٥^(١٨) مستعملاً كمرات حديد مطاوع تربطها من أعلى قضبان حديدية ومن أسفل ألواح من الحديد على شكل قبوات قليلة الانحناء وهذه حلت محل قبوات الطوب السابق استعمالها. وقد سوى السطح أفقيّاً بملء الفراغات بالخرسانة* (شكل ٣). هذا التصميم الذي أوحى به الرغبة في الحماية ضد الحريق قرب كثيراً من الإنشاء الذي يعمل فيه الخرسانة والحديد معاً - أي الخرسانة المسلحة - حيث إن الألواح الحديدية بمفردها لا يمكنها أن تكون مسطحاً ثابتاً ووجود الخرسانة أعلاها هو سبب صلابتها.

وقد تطور الإنشاء المعدني في أوروبا وأمريكا في النصف الثاني من القرن التاسع عشر تطوراً سريعاً وخاصة في المباني الانتفاعية كمحطات السكك الحديدية، الأسواق، وصوبات النباتات، ومباني المكاتب متعددة الطبقات، والمحلات التجارية، وصالات المعرض. ولم ينته القرن إلا وقد تمت تغطية مسطحات بلغت ١٨ فدانا في القصر البللوري عام ١٨٥١. كما أقيمت هياكل معدنية ببذور بلغت ١١٥ متراً في صالة الماكينات بمعرض باريس ١٨٨٩ و ١٦٥ متراً في كبرى المهندسين الفرنسي جوستاف أيفل. كما تم الإمتداد الرأسي بالهيكل الحديدي إلى ستة عشر طابقاً في عمارات المكاتب بمدينة شيكاغو وإلى ارتفاع ألف قدم في برج إيفل عام ١٨٨٩.

* ظهرت طرق أخرى في نفس الوقت في فرنسا وهي طريقة فو "Vaux System" وطريقة ثوياشي "Thuashe System" وغيرها. لدراسة تفاصيل أكثر عن هذه الفترة يمكن قراءة V. Fairbairn "On the Application of Cast and Wrought Iron to Building Purposes," (New York : J. Wiley, 1854)

أوائل المكتشفين للخرسانة المسلحة :

الحديد الزهر المكشوف ، محل ثقة كثير من البنائين ، قلّت استعمالاته وخاصة بعد حرائق سنة ١٨٧٠ وما بعدها في بوسطن وشيكاغو . وبينما المحاولات السابقة لدكتور فوكس وفيربيرن لاستعماله مع الخرسانة لم تكن هي نهاية المطاف ، إلا أنها فتحت الطريق أمام الخطوة التالية في البحث عن الإنشاء المضاد للحريق .

وقد كانت المرحلة التالية هي الوصول إلى أن الخرسانة المحيطة بالكمرات الحديدية يمكنها أن تؤدي دوراً إنشائياً بجانب حمايتها لها ضد الحريق . وقد توصل المكتشفون على مراحل عديدة إلى أن الخرسانة والحديد يمكن أن يعملوا كتكتلة واحدة . وفي حالة تعرض مثل هذا القطاع لعزم انحناء فإن الترابط بين الحديد والخرسانة كاف لكي تقاوم الخرسانة قوى الانضغاط والحديد أو الصلب قوى الشد الناتجة . كان من نتيجة الجهود المتلاحقة — التي بذلها مخترعون من أمثال ولكنسون (Wilkinson) في إنجلترا وكوبييه ومونييه (Monier) في فرنسا وهايات (T. Hyatt) ووارد (W.E.Ward) في الولايات المتحدة — ميلاد الخرسانة المسلحة .

أوروبا : يمكن الطعن تاريخياً في الاعتقاد السائد بأن مونييه — البستاني الفرنسي — هو أول من توصل إلى فكرة الخرسانة المسلحة . فلقد سجل مونييه اختراعه عام ١٨٦٧ في حين سبقه آخرون إلى تسجيلات ومحاولات عملية في هذا المضمار .

اقترح لودون (Loudon) في المقال رقم ١٧٩٢ لموسوعته عن عمارة الشاليهات والمزارع والفيلات (Encyclopedia of Cottage , Farm and Villa Architecture) الذي صدرت عام ١٨٣٣ ، طريقة لإنشاء الأسقف المضادة للحريق من شبكة من القضبان الحديدية المدفونة في الأسمنت (١٩) .

كما سجل مقال البياض والأحجار الصناعية الإنجليزي ولكنسون (W.B. Wilkinson) سنة ١٨٥٤ في نيوكاسل — على تايين (New Castle -On-Tyne) اختراعه لأسقف مضادة للحريق . وما اختراعه إلا تسليح للبلاطات الخرسانية بكابلات مجدولة . وقد وصفه ولكنسون قائلاً : « يثبت الكابل في نهايتيه على خطوط التحميل بدفنه في الخرسانة قبل تصلبها مع ثني النهايتين على شكل حلقة أو فك السلوك المكونة له ، وتفتيحها في اتجاهات مختلفة ، وبهذا يمكن ضمان عدم انفصاله تحت أى قوة أقل من القوة اللازمة لقطعة . وفي المنازل العادية اقترح أن توضع هذه الحبال على مسافات ٩ بوصات ، وأن يكون سمك السقف $\frac{1}{16}$ من البحر » (٢٠) .

وقد قال مستر شات (R.V. Chate) أحد السكرتيرين السابقين لجمعية الخرسانة المسلحة في إنجلترا ما يلي بخصوص اكتشاف ولكنصون . . . « لقد أدرك ولكنصون بذكائه مبادئ الخرسانة المسلحة الحديثة . وقد استخلص مواصفاته من تجارب عملية دقيقة ، وربما عن تفهيم نظري أيضاً . كما تظهر رسوماته للبلاطات المسلحة الكابلات الحديدية ، وقد ثنيت إلى أسفل البلاطات في وسط البحور حيث يوجد أكبر عزم انحناء في حين أنها رفعت إلى أعلى فوق الكابلات في البحور المستمرة لمقاومة عزوم الانحناء السلبية » (٢١) .

وحسب معلوماتنا الحالية يمكننا أن نؤكد أن هذا التسجيل هو أول اختراع يصف بدقة مبادئ الإنشاء بالخرسانة المسلحة . ومن المؤكد أن ولكنصون أدرك الحاجة إلى عناصر شد تضاف للخرسانة ولو أنه أخذ حرية واسعة في تكوين الخرسانة ذاتها ؛ إذ أنه كونها من الجبس والجير بنسب معينة . وقد بنى ولكنصون عدة مباني من الخرسانة المسلحة في المنطقة ، وقد جاء ذكر ذلك في خطاب أرسله المدعو مستر ثورب (Mr. Thorpe) بتاريخ ١٥ مايو سنة ١٩٢٥ لمحزر مجلة الهندسة (Engineering) (٢٢) . وفيه ذكر أن ولكنصون بنى كوخاً مقاوماً للحريق في طريق نورثمبرلاند (Northumberland) بمدينة نيو كاسل على تايين سنة ١٨٦٥ . وقد أرفق بهذا الخطاب صورة للكوخ من طابقين بطول ١٦ قدماً وعرض ١٤ قدماً . وأكد أنه مازال قائماً حتى كتابة الخطاب — أي بعد أكثر من ٦٠ عاماً من إنشائه * — ويعد ولكنصون من أكبر مقاولي الخرسانة المسلحة في إنجلترا . وقد ظلت شركته في نيو كاسل وفروعها في لندن مزدهرة حتى مطلع القرن العشرين .

في عام ١٨٥٤ نشرت المجلة الفرنسية «العرض العام للعمارة» (Revue Generale de L' Architecture) تقريراً عن المؤتمر السابق للجمعية الملكية للمهندسين المعماريين البريطانيين (R.I.B.A.) عن الإنشاء المضاد للحريق . وفي المقال نشرت تفاصيل عن الطرق الإنجليزية لاستعمال الحديد والخرسانة كطرق الدكتور فوكس وفيرييرن ، وما لاشك فيه أن الإنشائيين الفرنسيين من أمثال فرنسوا كونييه قد اطلعوا على هذا التقرير . وفي ٢٦ نوفمبر من عام ١٨٥٥ استصدر كونييه براءة اختراع إنجليزية لإنشاء أسقف يقول فيها : « ترمي على الحوائط الحاملة للأسقف عدد من الخوص الحديدية موازية بعضها لبعض ومتركزة على الحوائط بنهاياتها بحيث يحملها السمك الكلي للحائط . . . بدلا من الخوص اقترح وضع أسياخ

* ذكر كولنز (Collins) أن المنزل فحص بواسطة بروفيسور كاسي (W.F. Cassie) أثناء خدمه ووجد في حالة سليمة

Structural Engineer, April 1955, P.P. 134-7- Cf. Collins, concrete, op.cit P. 38.

متقاطعة على أبعاد مناسبة مرتكزة على الحوائط الأربع بحيث تظهر كرقعة الشطرنج . هذه القضبان يجب تقلوظ وتثبيت في كل نهاية صامولة بحيث تمنع الحوائط من أن تفقد وضعها العمودي » (٢٣) .

وقد أضاف إلى ذلك في التسجيل الفرنسى المؤرخ ٢٤ يونية سنة ١٨٥٦ قوله : « هذه القضبان بما لها من صواميل في نهاياتها تكون وحدات شد (بالفرنسى Tirans) مقصودة لمنع الحوائط من الميل إلى الخارج » (٢٤) .

القضبان هنا الغرض منها - كما جاء في تسجيل كونييه - أن تعمل كوحدات جذب وربط وليست كوحدة متماسكة مع الخرسانة. ومع هذا فقد أظهر إدراكه بوضوح للاحتياج إلى وحدات شد تدفن داخل البلاطات الخرسانية . وقد أنشأ كونييه أسفاً تجريبية منها سقف محمل على ثلاثة حوائط فقط عام ١٨٥٨ ، وآخر طوله ٢٣ قدماً ، وعرضه عشرون قدماً . « وقد يرقص عليه عشرون شخصاً لإثبات عدم حدوث اهتزازات » . وقد علق كونييه على السقف الأول في ملحق لبراءة اختراعه رقم ٢٢٩٩٤ المؤرخة بتاريخ ١٨ نوفمبر سنة ١٨٥٨ قائلاً : « كل سقف يكون بلاطة مفردة لها نفس صلابة ومقاومة الحجر ، وتحتوى داخلها على كميرات صغيرة . . . تكون وحدات شد . هذا ترتيب يزيد مقاومة الكمرة ذاتها لعزوم الانحناء بإضافة مقاومة البلاطة الخرسانية (٢٥) . وكان ذلك قبل تسجيل مونييه لبراءة اختراعه بتسعة أعوام .

كذلك تظهر في كتابات مورتون شاند (Morton Shand) (٢٦) عن تاريخ الخرسانة المسلحة أسماء مثل ماثيو ألن (Matthew Allen) وهو بناء من لندن سجل سنة ١٨٦٢ طريقة الإنشاء بالخرسانة المزودة بالحديد للأسقف والسلام ، وهذه استعملت في سوق كولومبيا في شورديتش (Shoreditch) . كما يذكر شاند أن فردريك رانسوم (F. Ransome) قد أنشأ في سنة ١٨٦٥ كميرات من الأسمنت المصبوب على هيكل على شكل أطواق حديدية ، وأن سكوت (H.Y.B. Scott) قد طور الطريقة السابقة لتكون أقرب للتنفيذ عملياً بتسجيله لاختراع في سنة ١٨٦٧ لأسقف خرسانية مقواة بشبكات متقاطعة من أطواق حديدية (Hoop-iron) ومحملة على أسياخ حديدية رابطة مدفونة بدلا من الكميرات الحديدية المستقلة .

أما بالنسبة لمونييه فإنه لم يسجل اختراعه الأول في فرنسا إلا في سنة ١٨٦٧ ، وهو يختص بإنشاء أحواض نباتية مستعملا « أسمنت مقوى » بسلك شبكى . والمادة التى استعملها هى المونة المقواة وليست الخرسانة (٢٧) ، فرونة السلك الشبكى سببت صعوبة دفنه في خرسانة ذات زكام كبير . وقد كان معرض باريس لعام ١٨٦٧ فرصة أتاحت لمونييه لعرض بعض أحواض الأزهار والأصص . غير أنه لم يظهر أى

دراسة بالاحتمالات الإنشائية للخرسانة المسلحة إلا في طلبه تسجيل الاختراع سنة ١٨٧٣ للإنشاء بالأسمنت المسلح في الخزانات والكبارى^(٢٨) ، وفي تسجيل اختراع في نوفمبر عام ١٨٧٧ لكمرات وأعمدة من أسمنت وحديد وذلك لاستعمالها في الطرق والسكك الحديدية .

أمريكا : أغفل تاريخ الخرسانة المسلحة دائماً الجهود الأمريكية التي بذلت في المراحل الأولى من تطورها ، مع أن أوائل المخترعين الأمريكيين قد توصلوا في نفس الوقت وفي عزلة عن أوروبا إلى اكتشاف أسس الخرسانة المسلحة سواء في المعمل أو في المجال التطبيقي . وسيهدف العرض التالي إلى الكشف عن هذه الجهود سعيًا لاستكمال الصورة الكاملة للإنشاء الخرساني في أوائل مراحلها على ضفتي الأطلسي .

وحسب معلوماتنا الحالية يمكن القول بأن أول كتاب عن الخرسانة المسلحة في العالم كتبه مخترع أمريكي هو هايات عام ١٨٦٦^(٢٩) . وقد نشر هايات في هذا الكتاب نتائج تجارب أجريت له بواسطة مستر كركادلي (David Kirakadly) (شكلي ٤٥) . هذه التجارب أجريت على خمسين كمرية بأوزان من ٢٠٠ إلى ٩٠٠ رطل ، مسلحة على أشكال مختلفة حملت جميعها حتى الكسر . وقد أظهرت هذه التجارب بما لا يتطرق له أي شك فهماً لأسس الخرسانة المسلحة - سابقاً ومستقلاً عما وصل إليه الأوروبيون . هذه النتائج أدرجت ضمن براءة اختراع أمريكية رقم ٢٠٦١١٢ بتاريخ ١٦ يوليو سنة ١٨٧٨ . وقد تلخص هايات نظريته في طلبه بقوله : « يمكن في أي كمرية أو منشأ معرض لغزوم الحناء الجمع بين الحديد أو الصلب وبين الخرسانة أو الطوب ، الأولى كشدادات معدنية توفر قوى الشد لمعادلة قوى الانضغاط التي توفرها المواد الأخرى ، كما يمكن الاستغناء عن الأجزاء المعدنية من الكمرية الحديدية مع استبقاء الشدادات علماً بأن الطوب المحروق والخرسانة يمكنها في ذاتها توفير قوة متماسكة كافية للقيام بالدور الذي يلعبه الجذع المعدني »^(٣٠) .

اهتم هايات بفكرته عن الأسقف المسلحة منذ سنة ١٨٥٥ ، فأجرى تجارب غير ناجحة على كمرات من طوب مفرغ مربوط بشدادات من كمرات حديدية ، وبلاطات من الجبس دفنت فيها أنابيب مفرغة من الصفيح ، كما دأب كل هذه الأنابيب بالمونة . وكنتيجة لتجاربه اللاحقة بالبلوكات الزجاجية المدفونة في الأرصفة الخرسانية اتجه اهتمامه إلى إمكانيات الجمع بين الخرسانة والحديد ، واستعان بخبرة مهندس سكك حديدية متقاعد من برمنجهام يدعى توماس ركت (Thomas Rickett) لمساعدته في الحلول النظرية للمشاكل الإنشائية المتعلقة بهذا الموضوع . وقد بنى هايات مصنع

في شارع فارينجدون (Farringdon Street) بلندن مستعملا الحديد المحاط بالخرسانة بالطريقة التي اخترعها . وبذا طبق عملياً على نفسه ما أذاعه فيما بعد من معلومات على الجمهور .

وقد شرح هايات في كتابه السابق تجاربه واقتراحاته لعمل أسقف خرسانية استغنى فيها عن الكمرات الحديدية ، واستعاض بها شدادات حديدية على شكل شرائط (شكل ٦) والخرسانة في هذه الحالة تمثل عنصر الانضغاط في الكمرة أو البلاط . كما أجرى تجاربه على كمرات خرسانية باستعمال شدادات حديدية بأشكال مختلفة . ففي بعض هذه التجارب استعمل للتسليح أسياخاً دائرية في أعلى وأسفل الكمرات الخرسانية . وفي تجارب أخرى استعمل تسليحاً سفلياً وأسياًخاً مكسحة (شكل ٥) ، وقد اقترح للبلاطات تسليحاً على شكل شرائط مبططة (شكل ٧) ، أو أسلحة رأسية تخترقها أسياخ دائرية (شكل ٨) . وقد أوصى بالحل الأول للبلاطات ذات السمك المحدود على شرط إيصال التسليح العلوي والسفلي بأسياخ رأسية . كما أوصى بالحل الثاني « لإنشاء أرضيات ومسطحات المشي وللمنشآت المعرضة للأحمال الخفيفة وللأسقف وللكمرات الرئيسية والفرعية وللأعمدة وللبلاطات الأرضية التي لا تتشقق من وزنها نتيجة لهبوط أساسات غير سليمة تحتها » (٣١) .

ولتأكيد اختراعه كان على هايات أن يصل إلى بعض النتائج الأساسية أهمها : وجود تماسك (Bond) بين الحديد والخرسانة . وهذه أثبتها بتجاربه ظهر فيها أن انكسارات الكمرات ذات التسليح المتباين تختلف بتنوع كمية هاد التسليح . وعند ذلك قال :

« وبدراسة هذه التجارب يتضح لنا من انهيار المعدن أن كل الأسلحة ظلت ثابتة تماماً أثناء تحميل الكمرة وأن الحديد والخرسانة كانا يعملان في تجانس تام » (٣٢) . وبالإضافة إلى ذلك اقترح في تطبيقاته تسنين أو تخشين أو عمل نتوءات في الشرائط الحديدية لضمان تماسك أكبر .

وقد تعمق هايات إلى أبعد من ذلك في نظرية الخرسانة المسلحة عندما أثار النقاط التالية : « خواص الأسمنت البورتلاندى في مقاومة الحريق ، قيمة تمدده وانكماشه بالنسبة للحديد تحت ظروف مماثلة ، تأثير الحرارة على الاثنين معاً ، تأثير شكل ووزن المعدن في المجموعة ، ومقارنة قابلية الانضغاط والامتداد لكل من الأسمنت والحديد — كل هذه النقاط بالإضافة إلى بعض المسائل الأخرى من المستحسن حلها بأقل ما يمكن من التأخير » (٣٣) .

وقد عرض هايات كمرات وبلاطات خرسانية لحرارة الأفران لاختبار خواصها ضد الحريق والزمن اللازم للحرارة لاختراق طبقات الخرسانة ، واستعمل نتائج هذه التجارب في عمل جداول حرارية .

كما أجرى تجارب لمقارنة معاملات تمدد واتكماش الخرسانة والحديد ومنها وصل إلى أنه : « لم يعد هناك شك في التوافق الموجود بين تمدد المادتين ، مهما يكن حجم المعدن . ومن ثم فإنه في المنشآت التي تجمع الخرسانة والحديد يمكن اعتبار المادتين — لجميع الأغراض العملية — متجانستين » (٣٤) .

فقطنا الاكتشاف بالذات يستحق هايات مكانه كأحد مؤسسي التصميم الحديث بالخرسانة المسلحة حيث إنه على أساس هذا الفرض الذي توصل إليه تطورت كل الحسابات الحديثة .

كما ذهب هايات بعيداً ليقترح عمل بلاطات سابقة الصنع من الخرسانة وصفها بأنها : « بلاطة مصبوبة ومتصلبة جاهزة للاستعمال ولتحمل الأوزان بمجرد وضعها في مكانها » (٣٥) . واقترح أن تكون هذه الوحدات مصبوبة على شكل كمرات ذات جذع وشفة (Web & Flange) تتصل بمنحنيات لزيادة قوتها ومرصوفة الواحدة بجوار الأخرى . أما الفراغات الدائرية الأفقية فهذه يمكن استعمالها للتسخين أو للتهوية . كما أنه في تاريخ مبكر عام ١٨٧٨ وصل هايات إلى فكرة الكمرات الصندوقية (Box-girders) التي تشكل بوضعها الواحدة بجانب الأخرى « كمرة ذات خلايا ومنشأ على شكل خلية النحل (honey-comb construction) » . كما أنه توصل إلى بلاطات مصبوبة على الموقع ، إما مسطحة أو ما يمكن اعتباره محاولة مبكرة جداً للبلاطة ذات الضلوع في الاتجاهين (Ribbed two-way slab) (٣٦) .

كما درس هايات تصميمات رائدة لما سماه « طريقي المحسنة لعمل الأعمدة والمداخن والمنارات والمنشآت المماثلة » (٣٧) . هذه التصميمات تعتبر محاولات مبكرة جداً لهذه الوحدات بالخرسانة المسلحة . وقد استعمل فيها شدادات دائرية تحيط بأسياخ رأسية على محيط الوحدات الرأسية* .

ما هو التأثير العملي الذي أحدثته اكتشافات هايات في معاصريه ؟

هذا التأثير لا يمكن تقييمه بدقة ، فقد طبع كتابه للتوزيع الخاص فقط . وهذا مما قلل من تأثيره . ومع ذلك فقد ظهرت مقالة على صفحة كاملة في مجلة البناء (The Builder Magazine) بتاريخ ٩ مارس سنة ١٨٧٨ تعرض كتابه واختراعاته كمجهودات مرموقة نحو الإنشاء المضاد للحريق . ومن المهم ملاحظة أن هذه المقالة لم تشر إلى أي من المكتشفين المعاصرين ، كما لم تظهر المقالة أية إدراك لأهمية اكتشافات هايات نحو تكوين مادة إنشائية جديدة . فقد نظرت المقالة لكل هذه التطورات كمجرد تحسين لتحمل الكمرات الحديدية للحريق .

* انظر الملحق في آخر الكتاب .

في نظرنا الحالية لتاريخ الخرسانة المسلحة يمكن تأكيد أسبقية هايات في هذا المجال على مولييه ، وهو الذي ينسب إليه التاريخ العام للخرسانة المسلحة فضل اختراعها . فبينما بدأت تسجيلات مولييه ذات الصفة الحديدية بالإنشاء بالأسمنت المسلح عام ١٨٧٧ فإننا نجد أن هايات في كتابه المفصل عن الإنشاء الخرساني والصادر في عام ١٨٦٦ قد وضع فيه الأسس الحسابية والمبادئ المؤكدة لسلامة الإنشاء بالخرسانة والحديد تحت جميع الظروف كما شرح بالرسومات الاحتمالات العملية المختلفة للإنشاء الهيكلي بالأعمدة والبلاطات .

* * *

أول مبنى بالخرسانة المسلحة في أمريكا حسب معلوماتنا الحالية منزل بناه مهندس ميكانيكي من فيلادلفيا اسمه وارد (١٨٧٣ - ١٨٧٦) لسكنه الخاص بقرب بورتشستر (Portchester) بولاية نيويورك* (شكل ٩) . وحسب تقريره عن إنشاء المنزل^(٣٨) يمكن الاستنتاج أن وارد اكتشف الخرسانة المسلحة . مستقلاً عن غيره سنة ١٨٧١** . وقد كان منزله ببورتشستر التحقيق العملي لاستنتاجات وتجارب سابقة . وقد كان هدفه بناء منزل مضاد للحريق ليحقق به رغبة زوجته التي ترهبها النار . وفي هذا المنزل استعمل وارد الخرسانة المسلحة ليس فقط في الحوائط الخارجية والداخلية والكرانيش والأبراج ، بل في الكمرات والأرضيات والأسقف ، التي استعمل لها الخرسانة المسلحة بكرمات حديدية خفيفة وأسياخ دائرية القطاع . وقد ذكر مستر وارد بكل تحمس أن كل الدواليب | والسلام والشرفات والمداخل بالأعمدة الحاملة لها (شكل ٩) قد صبت جميعها من نفس المادة

وبعد فترة من التجارب استخلص وارد ما يأتي : « إن فائدة الحديد والخرسانة في البناء يمكن زيادتها كثيراً عن طريق الموازنة السليمة لخواصهما الطبيعية . والكفاية الزائدة التي يصلان إليها نتيجة لاستعمالهما معاً تفوق بكثير تلك التي تتحقق من استعمال كل مادة على حدة وبنفس المقادير »^(٣٩) . وقد استعمل وارد في أسقف المنزل المذكور كمرات خفيفة من ٥ ، ٦ ، ٧ بوصات مدفونة في قاع كمرات خرسانية مستغلة خواصها في الشد لمقاومة الإجهادات أسفل محور التعادل (شكل ١٠)^(٤٠) . وكذلك اقترح للإنشاءات المستقبلية استعمال قطاع (T) مقلوباً ليعطى توزيعاً أفضل للحديد إذا ما قورن بالكرمات المركبة (I) التي استعملت من قبل^(٤١) . وللبلاطات استعمل وارد شدة أفقية من

* المنزل - ما زال قائماً في حالة جيدة .

** الحادثة التي حدثت وارد إلى اكتشاف الخرسانة المسلحة حدثت في إنجلترا سنة ١٨٦٧ حين لاحظ الصعوبات التي يصادفها العمال لإزالة الأسمنت من أدواتهم الحديدية .

ألواح خشبية خشنة بين الكمرات . كما رصت أسياخ حديدية قطر $\frac{5}{16}$ بوصة بين الكمرات على مسافات ٨ بوصات ، ووضعت طبقة من الخرسانة سبك ١ بوصة فوق الأسياخ ثم رصت طبقة أخرى من الأسياخ متقاطعة مع الشبكة الأولى ، ثم صبت ودكت طبقة أخرى من الخرسانة سبكها بوصتان . ثم أضيفت طبقة من مونة الأسمنت والرمل الناعم بعد تصلب البلاطة ، وبذا أصبح السبك النهائي ثلاث بوصات ونصف بوصة . ومن المهم ملاحظة أن الأسياخ في هذه الحالة كما هي في الكمرات موضوعة في قاع البلاطات . وقد صبت ما يزيد على ثلاثة عشر ألف قدم مربعة من الأرضيات والأسقف في هذا المنزل بهذه الطريقة .

وفي الحوائط وجد وارد بالتجارب أن حائطاً من الخرسانة المسلحة سبك ٢,٥ بوصة مساوياً في القوة لحائط الطوب من سبك ٨ بوصات . واقترح تصميماً لحائط مزدوج من الخرسانة المسلحة ذي فراغ داخلي من ٦ إلى ١٠ بوصات مع استعمال وصلات عرضية كل ٢ إلى ٣ أقدام . هذه الطريقة توفر حماية من الجوالعاصف والحريق والرطوبة ، كما أنها تمد المنزل بالتهوية المطلوبة . أما الشرفة المحيطة بنصف المنزل فلها أعمدة خرسانية مفرغة (شكل ٩) والفراغات الداخلية تقوم مقام المواسير لتصريف مياه الأسطح والأسطوانات الخرسانية المحيطة المسلحة بدوائر من أسياخ $\frac{3}{8}$ بوصة في منتصف القطاع .

وقد أثار المنزل آراء متعارضة ، فبينما عرف باسم « تهريج وارد » بين سكان المنطقة متنبئين بقرب سقوطه ، نجد اهتماماً بالمنزل من مراسل مجلة (American Architect and Building News) مستر رايت (P. B. Wright) الذي نشر مقالا في صفحتين سنة ١٨٧٧ مشيراً إلى استعماله المستحدث للمواد ، وشارحاً للأشكال الجديدة الأخرى التي قدمها . وفي سنة ١٨٨٣ عندما قرأ مستر وارد مقالته عن « الخرسانة والحديد كمادة لإنشائية » في مؤتمر للمهندسين ، قامت مناقشة حامية كان الاهتمام فيها منصهياً على خاصية الإنشاء بالحديد كمادة مضادة للحريق وعلى طريقة وارد لتسخين المنزل . وقد عبر مستر وارد عن ثقته غير المحدودة باختراعه الحديد مقترحاً امتداد استعماله للمشروعات المعاصرة كنفق نهر الهدسون وتمثال الحرية ، وقد كان الأخير تحت الإنشاء على جزيرة بدلو (Bedloe) في ذلك الوقت . وقد استعمل وارد الإنشاء بالحديد في الأساسات الثقيلة للماكينات الثابتة وكذلك في تبطين خزان سعة ٩٦٠٠٠ جالون ، كما استعمل الخرسانة المسلحة في بناء كل جزء معرض للحريق في مصنع المسامير والصواميل الذي يملكه بيبورتشستر بنيويورك .

وكما هو ملاحظ عن القرن التاسع عشر فإن هؤلاء المكتشفين الأوائل لم يشيروا في كتاباتهم لأى مجهودات مشابهة سابقة أو معاصرة . وربما يرجع ذلك إلى نقص النشر على مستوى دولى الأمر الذى حدد انتشار المعرفة بالاختراعات عالمياً .

وعلى العموم فإن مجهودات كل المكتشفين السابقين بمجهودات فردية ، لم تترك إلا آثاراً محلية محدودة . وكما هو الشأن فى الاكتشافات التى تغير أنظمة ثابتة ، فإنها تبقى فردية حتى يتبنّاها من له القدرة العملية الفائقة بنشرها على مدى واسع ولادة طويلة تكفى للفت نظر العامة والخاصة إليها فى وقت يكون الوعي قد انتشر إلى مزاياها ، والاحتياجات والظروف العملية قد تهيأت لقبولها وشيوعها .

مرحلة التطور : الخرسانة المسلحة — وهى ما زالت فى مراحلها الأولى — واجهت منافسة شديدة من الإنشاء الحديدى ، إلا أنها تميزت بمقاومتها للحريق . وقد زادت الحاجة إليها بعد أن أثبتت التجارب فى المعامل وفى المباني الواقعية هذه الحقيقة . غير أن هذه المادة فى هذه المرحلة لم تكن مستعدة للاستعمال العام . فما زالت هناك بحوث طويلة لإرساء قواعد نظرية وعملية ثابتة .

أهمية مونييه بالنسبة لتاريخ الخرسانة المسلحة ترجع إلى أنه هو الذى أدخلها إلى ألمانيا ومنها إلى عموم الإمبراطورية النمساوية الهنغارية . فى سنة ١٨٧٩ رأى مهندس مدنى — وهو مقاول ألماني يدعى وايس (G. Wayss)^(٤٢) — بعضاً من كميرات مونييه معروضة فى معرض أنتورب ، واشترى الحقوق الألمانية لاستعمالها . وفى سنة ١٨٨٠ اشترى رودلف شوستر (Rudolph Schuster) الحقوق النمساوية وكون وايس الشركة النمساوية الألمانية التى استمرت حتى سنة ١٨٩٣ حين اندمجت فى شركة وايس وشركاه .

وللمهندسين الألمان يرجع فضل كبير فى تطور الخرسانة المسلحة . فى سنة ١٨٨٧ نشر وايس كتابه "طريقة مونييه — هيكل حديدى مع حشو خرساني — واستعمالها فى المباني" . وقد اهتم وايس فى كتابه بالأعمال المدنية ، مع أن عنوان الكتاب يشير إلى أعمال المباني . وقد استعمل وايس الخرسانة المسلحة ليس فقط فى خزانات الغاز والماء ، بل فى المساكن والكباري والأعمال المائية إلخ . وكانت تسجيلات مونييه هى المصدر الوحيد للخرسانة المسلحة الألمانية حتى ذلك التاريخ ، لذلك سموها إنشاء مونييه (Monierbau) (أشكال من ١١ إلى ١٣) . ولم يتغير هذا الاسم إلى الإنشاء بالخرسانة المسلحة (Eisenbetonbau) أو (Betoneisenbau) إلا بعد ظهور طرق أخرى للإنشاء بالخرسانة المسلحة .

وقد قطعت ألمانيا شوطاً كبيراً في الميدان النظري حيث حققت أحسن النتائج . ففي الوقت الذي كان المهندسون الألمان لديهم نظريات كاملة عن طريقة حساب الكمرة والبلاطة كان التسليح في إنجلترا يحسب كنسبة بسيطة من مسطح الخرسانة* . وقد تطور الاتجاه العلمي النظري في ألمانيا على يد م. كوني (M. Koenen) وقد كان في وقت من الأوقات مديراً لشركة الخرسانة وإنشاء مونييه ببرلين . وقد وضعت نظريات كوني الأساس لحسابات الأرضيات والعقود والمواسير الأسطوانية والخزانات المائية .

وقد كان لفرنسا دور كبير في تطوير الخرسانة المسلحة ، وذلك نتيجة لمجهودات وعبقورية فرانسو هنيبيك (Francois Hennebique) وهو الرجل الذي يرجع إليه الفضل في نشر الخرسانة المسلحة ، وتعميم استعمالها كمادة إنشائية معتمدة ؛ لأنه جمع القدرة العملية مع قوة الدعاية على المدى الطويل . وقد أسس مكتباً لتطوير هذه الطريقة ونشرها وقد توسع هذا المكتب حتى أصبح مهندسوه مسئولين عن أغلب الإنشاءات الخرسانية في العالم** . وكان أول استعماله للخرسانة المسلحة سنة ١٨٧٩ في منزل صديق له يدعى م. مادو (M. Madux) في لومبارزايد (Lombarzeide) بجوار وست إند (Westende) وقد استعمل هنيبيك كمرات خرسانية سابقة الصب بدلا من الكمرات الخشبية . وفي السنة التالية استعمل في بنائه بيتاً للبستاني لنفس العميل الكانات لربط الأجزاء العليا والسفلى من الخرسانة ولتقاومة قوى القص في الكمرات . وقد كان هذا الاختراع ، بالإضافة إلى تكسيحه للحديد فوق الأعمدة ، أساساً لبراءات اختراعاته الأولى . وقد استمر هنيبيك في إجراء تجاربه سرّاً على الأعمدة والكمرات والبلاطات مدة الاثنتي عشر السنة التالية ، حتى وصل سنة ١٨٩٢ لطريقة علمية كاملة للإنشاء الهيكلي (Framed Construction) (أشكال ١٤ إلى ١٨) .

ومع استحالة البت في نسبة المنقول من اكتشافات هنيبيك عن ألمانيا ، أو أمريكا ، أو عن الأعمال السابقة له في فرنسا ، فإن الآراء قد أجمعت على أنه بفضل شجاعته ومثابرته التي لا تكل تمكن من تعميم هذا الإنشاء المستحدث وأنشأ به أجراً مشروعات هندسية في القرن التاسع عشر .

وبمجرد أن حصل على براءات اختراعات في فبراير وأغسطس سنة ١٨٩٢ في بلجيكا وفرنسا انصرف عن عمله كمقاول وابتدأ عمله كمهندس استشاري . وضم لمنشآته عدداً من بيوت

* مستر فيليب هوبز (Philip Hobbs) مدير شركة ولكنسن أبلغ (Northern Architectural Association) أن مسطح الحديد يمكن أن يحسب بكل دقة على أساس $\frac{1}{16}$ من مسطح الخرسانة (٤٣) .

** ما زال المكتب من أنجح الهيئات المسئولة عن الاستشارات الإنشائية بالخرسانة المسلحة في باريس .

المقاولات الموثوق بها ، ومنحهم حقوق تشغيل اختراعاته على شرط احترام مواصفاته بكل دقة . وبهذه الطريقة توسعت أعماله وأرباحه خلال الشركات التي انضمت إليه مع احتفاظه بالإشراف العام على المستوى الفنى لهذه الأعمال . وقد كان هنبليك مهتماً بالدعاية ، وإصدار النشرات ، وعقد المؤتمرات في باريس ، وكان أولها سنة ١٨٩٧ . كما أصدر مجلة شهرية باسم «الخرسانة المسلحة» ظهرت في يونيو سنة ١٨٩٨ .

وقد ابتدأ هنبليك بإنشاء الأعمال المدنية ثم اتجه إلى المباني الانتفاعية الصناعية التي تبرز فيها مزايا الإنشاء الحديد : أولها المصنفي الباريسية بسانت أوين (Raffinerie Parisienne, St. Ouen) سنة ١٨٩٤-١٨٩٥ ثم تبعها بمصنعين للغزل في توركوان (Tourcoing) سنة ١٨٩٥ (شكل ٤١) وفي فيف (Fives) عام ١٨٩٦ والرابع لمصنع دقيق الطاحونة المثالية (Le Moulin Ideal) في نورت (الوار) (Nort - Loire - inf.) في عام ١٨٩٨ ، وجميعها مبان من طابق واحد أو عدة طوابق ذات أعمدة وبلاطات خرسانية بينها حوائط زجاجية لتوفير الإضاءة وهو تصميم جديد لهنبليك للمباني الصناعية المتعددة الطوابق . وأخذت أعماله تتوسع في السنين التالية حتى إنه في سنة ١٨٩٨ مثلاً كانت لديه ٨٢٧ عملية .

وفي سنة ١٨٩٨ بنى لمنشآته مقرّاً من خمسة طوابق على قطعة أرض على ناصية شارع دانتون وميدان سانت ميشيل في باريس (شكل ١٩) . وقد كلف المعمارى أرنود (E. Arnaud) ليصمم له مبنى تتحقق فيه ميزات الخرسانة المسلحة من ناحية الشكل والتوزيع الداخلى . وقد حقق بهذا المبنى نصراً كبيراً على المباني الحجرية نظراً لحوائطه وأسقفه الرفيعة ؛ إذ تمكن من زيادة المسطح المستعمل بأكثر من ثمانية أمتار مربعة لكل طابق ، مع زيادة طابق كامل في حدود قوانين الارتفاعات المعمول بها في ذلك الوقت (٤٤) . وقد كانت هذه التجربة العملية بعد شيوعها سبباً في ازدياد استعمال الخرسانة المسلحة في المباني السكنية في أوائل القرن العشرين .

وبمرور الوقت أثبتت التجارب دون أدنى شك ميزة الخرسانة المسلحة كمادة إنشائية مضادة للحريق وبدا ازدياد استعمالها في المباني المعرضة للحرائق ، كما حدث في المسرح الذى كُلف هنبليك بتصميم صالاته الكابولية من الخرسانة في مدينة مورج (Morges) بسويسرا عام ١٨٩٩ . هذه الصالات تبرز حوالى ٣ أمتار عن حائط المبنى الحامل . ورغم تواضع هذه الكوابيل فإنها تعتبر الأولى من نوعها . وقد تبعها هنبليك بمحاولة أخرى سنة ١٩٠٠ في مسرح في بيرن وفيه استعمل هنبليك هيكلًا كاملاً وبلكونات كابولية من الخرسانة المسلحة . وقد تلا ذلك عدة مسارح برزت فيها ميزات الخرسانة المسلحة في هذا

النوع من المباني . وقد نفذ هنيك بلاطات متاحف القصر الصغير والكبير بباريس (Grand et Petit Palais) سنة ١٨٩٨ ، وهذه أنشأت في الشانزليزية بمناسبة معرض باريس لعام ١٩٠٠ . وبالإضافة إلى البلاطات فقد صمم للقصر الصغير سلمين حلزونيين من الخرسانة . وقد كان معرض باريس سنة ١٩٠٠ مجالا أمام هنيك لتنفيذ عدد من الهياكل الخرسانية لقصور العرض : كقصر الآداب والعلوم والفنون ، ولو أنها جميعاً استعملت كمحامل مخفية لواجهات مزيفة ثقيلة . وقد كان هذا المعرض فرصة كبيرة للدعاية ونشر الإنشاء الحديد ، فقد نفذت فيه فراغات ببجور ١١ متراً وكوابيل تبرز ٣ ¼ أمتار ، كما كان سبباً مباشراً لنشر الإنشاء الخرساني في أوروبا وخاصة إيطاليا وهولندا . ويعتبر قصر المياه في نفس المعرض من المشروعات الخريثة التي تحققت نتيجة لاستعمال الخرسانة المسلحة . وقد صممه المهندس الفرنسي ف. كونييه الذي ساعدت تجاربه مع المهندس دي تودسكو (De Todesco) على تطوير الخرسانة المسلحة لتصبح مادة لإنشائية ذات أساس علمي سليم .

وفي سنة ١٩٠٢ أي بعد مرور عشر سنوات على إنشاء مكتب هنيك توسعت أعماله إلى أن بلغ معدلها حوالي ١٥٠٠ عقد سنوياً . كما كان مديراً لمنشأة دولية لها مقاولون مرخصون في كل بلاد أوروبا تقريباً . وحتى سنة ١٩١٧ أتم هنيك حوالي ١٧٦٩٢ عقداً للمباني وعدداً مماثلاً من الأعمال المدنية^(٤٥) .

وقد قرر بعد جمعه ثروة طائلة بعد معرض باريس بناء مسكن كبير من الخرسانة المسلحة له ولأسرته في قرية بوج - لا - رين (Bourg-La-Reine) بجوار باريس بحيث يستعمل فيه كل إمكانيات مادته الجديدة ، وبخاصة إمكانياتها في عمل الكوابيل على اختلاف أنواعها ومنها كوابيل البرج العالي الذي يحتوي على خزان المياه . وبجانب الكوابيل والاستعمال الكثير للزجاج فقد احتوى المنزل على عدد من الأمثلة الإنشائية الحديدية ، منها استعمال البلاطات السابقة الصب بسمك ١ بوصة إلى ١ ¼ بوصة وارتفاع ١٤ بوصة كشدات دائمة لتوفير الشدات الخشبية^(٤٦) ، كما أنها كوّنت بركامها المكشوف السطح الخارجي للواجهات بدون احتياج لأي رتوش . والملاحظ أن هذه الحوائط حاملة على في حين استعمل هنيك الهياكل الخرسانية في مباني المصانع .

وبالتدريج انتشر الإنشاء الخرساني في أوروبا خارجاً عن نطاق احتكار هنيك له * بظهور مهندسين إخصائيين في فرنسا وغيرها ، وظهور براءات اختراعات أخرى كما كتبت كتب عديدة في الموضوع

* انتهت المدة القانونية لتسجيلات هنيك عام ١٩٠٧ إلا أن طرقه أصبحت شائعة الاستعمال قبل هذا التاريخ .

وبعضها كتبه بعض أعضاء مكتب هنبياك . ومنهم بول كريستوف (Paul Christophe) ^(٤٧) وقد أصبح الإنشاء الخرساني عاملاً بعد أن تدخلت الحكومة الفرنسية لوضع مواصفات لاستعماله حيث كوَّنت لجنة خاصة من وزارة الأشغال سنة ١٩٠٠ تحت رئاسة كونسيدير (Considere) كبير مهندسي الطرق والكبارى وعضوية أكبر أخصائي الخرسانة ، ومنهم هنبياك نفسه . وقد كان الأعضاء متخوفين على مستقبل الخرسانة من جراء تدخل السلطات في تطورها ، ولو أن هذه المخاوف زالت وصدرت المواصفات الرسمية سنة ١٩٠٦ . وبهذا القانون كسبت الخرسانة المسلحة الاعتراف الرسمي بها وأصبحت مادة معتمدة للتصميم المعماري .

الولايات المتحدة : الإنشاء الخرساني كان دائماً وما زال إنشاءً معقداً بالنسبة لحالة العمالة في أمريكا بالإضافة إلى ما يتطلبه من وقت . وقد دارت مناقشات وظهرت كتب ومقالات حول هذا الموضوع . وقد كان انخفاض نفقات التأمين على المنشآت الخرسانية عاملاً مشجعاً على استعمالها ، ولو أن نقص الأيدي الفنية والمتفرغة على الخرسانة ونقص المشرفين كان دائماً عائقاً أمام المصمم ^(٤٨) ، بجانب عدم ثقة المصمم ذاته في طريقة سلوكها . وقد أوردت مجلة البناء (The Builder Magazine) أن مستر ج. ب. بوست (G.B. Post) ممثل الولايات المتحدة في مؤتمر بلندن عام ١٩٠٦ قال :

« إنه ربما يكون من الطرافة للأعضاء الحاضرين أن يعرفوا أن المعماريين العاملين في الولايات المتحدة استعملوا الخرسانة الحديدية (Ferro — Concrete) بتخوف كبير . وذلك لعدم وجود حقائق ثابتة معتمدة لحسابات الإجهادات حتى إنهم لم يعرفوا موضع محور التعادل للكميرات تحت الأحمال المختلفة » ^(٤٩) .

وقد اتجهت المجهودات الأمريكية بطبيعة الحال إلى تبسيط الإنشاء بالخرسانية المساعدة ، ولقد كان الوصول إلى طريقة سهلة في التسليح أحد أهدافهم . ومن الطرق الشائعة حوالى سنة ١٩٠٠ في أمريكا طريقة استعمال الشبك الممدد ^(٥٠) . فبجانب الوفرة في التسليح هيأت هذه الطريقة تماسكاً أكبر بين الحديد والخرسانية . وقد تكلم و. م. بيلي (W.M. Bailey) سنة ١٩٠١ — وهو عضو في جمعية المهندسين المدنيين البريطانيين — عن طريقة الشبك الممدد بقوله : « الشبك الممدد يكون وسادة توزع الحمل في جميع الاتجاهات ، الجميع يعمل كل إنشاء واحد متماسك » ^(٥١) .

وقد استعملت هذه الطريقة في الولايات المتحدة في البلاطات ، وكذلك في العقود والكبارى

(شكل ٢٠) ومن أمثلة ذلك كوبرى أنشأ سنة ١٩٠٠ على هيئة عقد في أوكونومووك (Oconomowoc) بولاية وسكنسن مستعملاً خوص مسطحة وطبقة من الشبك الممدد بم ١٦ وشبكة سعة ٢ ١/٢ بوصة . وقد ذكر بيلي أمثلة أخرى منها : مصانع لب الخشب في ولاية مين بقطر ١٤ قدماً ومخزن مصمم بواسطة شركة إيسترن للشبك الممدد (Eastern Expanded Metal Co.) ومنفذ بواسطة شركة خرسانة منياتن (Manhattan Concrete Co.) (شكلي ٢١ ، ٢٢) .

ومن أشهر من أثروا في تطور الخرسانة المسلحة في أمريكا ووصلوا بها لنتائج ناجحة أرست لزي رانسوم المشرف على شركة أحجار الباسفيكي (Pacific Stone) بسان فرانسيسكو (أشكال من ٢٣ إلى ٢٦) . ولا يمكن البت في احتمال معرفة رانسوم باكتشافات هايات ووارد ولولم يشاطر وارد في ثقته في تماسك الخرسانة والأسياخ الدائرية ، لأنه في سنة ١٨٨٤ سجل اختراعاً لقضبان ملوية بزاوية ٢٠° بغية منعها من الانزلاق في الخرسانة (٥٢) .

ومن أوائل أعمال رانسوم الهامة المتحف الصغير بجامعة ستانفورد بكاليفورنيا سنة ١٨٨٩ - ١٨٩١ (شكل ٣٥) وفيه استعملت الخرسانة في الحوائط والبلاطات . أما السقف فكان من جمالون حديد مكسو ببلاطات خرسانية . وقد عالج رانسوم الواجهة ليظهر ملمس الركام . وقد كان هذا الاستعمال سابقة تاريخية لاستعمال الخرسانة كمادة نبيلة خارجية . كما بنى في نفس السنة (١٨٨٩) أول كوبرى من الخرسانة المسلحة في أمريكا في جولدن جيت (Golden Gate) بسان فرانسيسكو (٥٣) وفيه استعمل أسياخاً ملوية على المحيط الداخلى والخارجى للعقود الخرسانية . وقبل سنة ١٨٩٠ بنى رانسوم أكاديمية العلوم بسان فرانسيسكو مستعملاً بلاطات خرسانية وأعمدة حديدية . وقد بنى رانسوم عدة مباني صناعية على الشاطئ الغربى كمصنع لشركة بوراكس الساحل الباسفيكي (Pacific Coast Borax Co.) في الميدا (Alameda) بكاليفورنيا . وفيه استعمل لأول مرة الأعمدة الخرسانية والبلاطات على هيئة حرف (T) . ثم نقل طريقته إلى الشاطئ الشرقى ببناء مصنع خرساني كبير لنفس الشركة في بايون (Bayonne) بولاية نيوجرسي . والمصنع عبارة عن مبنى ٢٠٠ قدم طولاً و ٧٥ قدماً عرضاً مقسم إلى باكيات ٢٤ قدماً طولاً و ١٢ قدماً عرضاً . وبه أسقف تحمل أكثر من ١٠٠٠ رطل في القدم المربع تحملها أعمدة وحوائط خارجية خرسانية (٥٤) . هذه المصانع تختلف عن مصانع هنيك في أن حوائطها حاملة ، ومن ثم فإنها سميكة وذات فتحات صغيرة .

بعد ذلك ، وابتداءً من سنة ١٩٠٠ ، طور رانسوم طريقته لإنشاء المصانع إلى استعمال الهيكل

الخرساني ، واختفت الحوائط السميكة لتحل محلها بلاطات وأعمدة بينها حوائط خرسانية رفيعة مصبوبة على الموقع . وقد سجل رانسوم اختراعه سنة ١٩٠٢ واستعمله في بناء مصنع آلات كيلى وجونز (Kelly & Jones) في جرينزبرج (Greensburg) بولاية بنسلفانيا . وهو مصنع من أربعة طوابق مسطحة ٣٠٠ قدم طولاً و ٦٠ قدماً عرضاً وفيه استعمل أعمدة خرسانية ذات تسليح حازوني من استنباط المهندس الفرنسي ارماند كونسيدير (Armand Considere) وقد استمر رانسوم في أعماله ، وأوان الميدان ازدحم تدريجياً بآخرين كان من أهمهم شركة جوليس كان (Julius Kahn) التي عملت مع مكتب معماري ذي شهرة في المباني الصناعية ، وهو مكتب ألبرت كان (Albert Kahn) ، ومكتب هنري تيرنر (Henry Turner) أحد موظفي رانسوم السابقين الذي أنشأ شركة تارنر للإنشاءات سنة ١٩٠٢ .

* * *

ومن عدد الإنشاءات الخرسانية وتنوعها بين عامة وخاصة في بداية القرن العشرين يمكن التأكيد بأن الخرسانة المسلحة قد اكتسبت فعلاً القبول الشعبي والهندسي . وبين الطرق العديدة التي ظهرت في ذلك الوقت نرى أن الطرق الأكثر عملية وملاءمة قد سادت الميدان . وهذه هي طرق مونيه وهنريك وكونسايدر في أوروبا وطريقة رانسوم في أمريكا * . كما ظهر أن الطرق الأوروبية قد احتلت مكاناً مفضلاً نظراً لمرونتها واحتمالات تطبيقاتها الواسعة .

وبهذه التطورات انتقلت الخرسانة المسلحة من مرحلة المحاولات الاستكشافية الجريئة إلى مرحلة الاستعمال الثابت في الميدان المعماري . وأصبح على المماريين أن يتلمسوا طريقهم مع هذه المادة المستحدثة ذات الخواص الفريدة .

* ظهرت طرق أخرى منها طريقة ونش (Wunsh) التي وضع أسسها روبرت ونش في هغافيا سنة ١٨٨٤ وطريقة ميلان (Melan) التي طورها ج . ميلان بالنمسا وسجلها في الولايات المتحدة سنة ١٨٩٢ .

٢
الشكليات المعمارية الأولى بالخرسانة المسلحة

كتب راسكن عام ١٨٤٩ في مصباح الطاعة * معبراً عن الاتجاه المعماري في القرن التاسع عشر:

« لا نريد طرازاً جديداً ، من يريد طرازاً جديداً في التصوير والنحت ؟ نحن نطلب طرازاً ما ، إذا كانت لدينا مجموعة قوانين ، فإنه من غير المهم كونها جديدة أو قديمة مستوردة أو محلية ...

الأشكال المعمارية التي نعرفها جيدة بالنسبة لنا ، وهي أفضل كثيراً من أى منا ، وسيمضي وقت قبل التفكير في تغييرها إلى الأحسن إذا كان من الممكن استعمالها كما هي ، ولكن هناك بعض الأسس التي لا نريدها فقط ، بل لا نستطيع العيش بدونها . . . وهي الطاعة والوحدة والزمالة والنظام»^(١).

« والذي في وسعنا أن نحصل عليه ، ومن واجبنا أن نقرره ، هو طراز عام من نوع ما ، فهمناه وجربناه ، بحيث يمكننا أن نوفق أشكاله للطابع الخاص لجميع مبانينا كبيرة كانت أم صغيرة ، سكنية كانت أم دينية . لقد قلت إنه ليس من الأهمية بمكان أى طراز نختار مادام تطوره يسمح بدرجة معقولة من التجديد ، وبصورة أهم مدى تقبله للاحتياجات المعمارية العامة . . . ومن ثم يصبح اختيار الكلاسيكية أو القوطية - والأخيرة بمعناها الواسع - مشكوكاً فيه بالنسبة لاستعمالها في مبنى مفرد وكبير من مباني العامة ، وغير مشكوك فيها مطلقاً بالنسبة لاستعمالنا الحديثة على وجه عام»^(٢).

بعد أن شكك راسكن في صحة الاستعمال الحديث للطرز الكلاسيكية كالأغريقية مثلاً أو الطراز القوطي في أوائل وأواخر تطوراتها - القوطي الفرنسي اللامبي (French Flamboyant) مثلاً - حصر اختياره في أربعة طرز ، أولها طراز پيزا الرومانسكى ، وثانيها القوطي المبكر لجمهوريات إيطاليا الغربية متطوراً حسب إكانيات العصر إلى قوطي جيوتو (Giotto) . أما الاختياران الثالث والرابع فقد حصرهم راسكن بين قوطي فينيسيا في أننى مراحلها وبين القوطي الإنجليزي المزخرف (English Decorated) . وقد فضل الأخير على أنه الطبيعي والأكثر ملاءمة على أن يحل بوحدات زخرفية من الطراز القوطي الفرنسي المزخرف .

كتب راسكن ذلك في منتصف القرن التاسع عشر ، وقد سبقه ما يزيد على نصف قرن سادت فيه الرومانتيكية نحو الماضي ، نحو التاريخ ، نحو القديم ، نحو الضخامة ، نحو الطبيعة . اتخذت هذه الرومانتيكية من ناحية التطبيق اتجاهين أخذاً صفة الدولية : الأول رومانتيكى كلاسيكى قام في فرنسا

* أوجين راسكن من أشهر كتاب وفلاسفة عمارة القرن التاسع عشر ، وقد أثرت كتاباته بطريقة إيجابية أو سلبية في عمارة القرن التاسع عشر وفي المراحل الأولى من عمارة القرن العشرين ومصباح الطاعة هو أحد سبعة مصابيح معمارية ضمها كتابه

(The Seven Lamps of Architecture) John Ruskin, Bernhard Tauchnitz, Leipzig, 1907.

على تعاليم دوران (Durand)* وانتشر إلى ما حوّلها من دول النمسا وألمانيا وإيطاليا، وانتشر شمالاً إلى البلاد الإسكندنافية، وامتد شرقاً إلى روسيا، وعبر الأطلسي غرباً إلى أمريكا فيما عرف باتجاه إحياء الطراز الإغريقي (Greek Revival). كما تركّز الآخر على الجزيرة البريطانية في تشكيل قوطي وعبر المانش إلى أوروبا والأطلسي إلى أمريكا، وتطور ليصبح طرازاً مميزاً للعصر الفيكتوري. ومن الاتجاهين ظهرت تطورات نحو الصور المختلفة لطراز عصر النهضة في فرنسا وإنجلترا وما عرف بالرونديبوجنشتيل (Rundbogenstil) في ألمانيا، وطراز الإمبراطورية الثانية في فرنسا، والطراز الفيكتوري العالي القوطي في إنجلترا وأمريكا في النصف الثاني من القرن التاسع عشر.

وقد نلمح في كتابات راسكن واقتراحاته إضافة زخارف قوطية فرنسية على طرازه المفضل وهو القوطي الإنجليزي المزخرف، آثار فلسفات سابقة وتطبيقات معمارية معاصرة ولاحقة. هذه الفلسفات - وهي ما عرفت باتجاه الاقتباس ظهرت لأول مرة في الثلاثينيات في فرنسا في كتابات ومحاضرات الفيلسوف الفرنسي فيكتور كوزان** (Victor Cousin). وهي تعني طريقة مركبة للتفكير تحتوي على آراء مختارة من اتجاهات مختلفة. هكذا يرى المقتبس منطقياً أنه لا ينبغي لأى فرد أن يقبل قبولاً أعمى من الماضي أسطورة نظرية فلسفية معينة (أو اتجاهاً معمارياً معيناً) حاذفاً كل النظريات الأخرى. ولكن من الواجب الانتقاء فكرياً وبحرية من الحقائق الفلسفية أو التشكيلات المعمارية التي استعملت في الماضي ما يراه مناسباً للحاضر، ومن ثم يعترف بها ويحترمها في أى مضمون تظهر فيه. لقد اتجهت هذه النظرية الجديدة إلى الوصول إلى نظرية فلسفية حية عاصرت سعى المعمارين إلى الوصول إلى عمارة حية (Living Architecture) كسبيل للتخلص من النقل الأركيولوجي الذي ساد عمارة النصف الأول من القرن التاسع عشر. وهكذا وجد المعمارون الخاصون في منتصف القرن في هذه الفلسفة الجديدة مخرجاً من فوضى «الأحياء» إلى مهاوى «الاقتباس». هذا المخرج يسمح باختيار وحدات معمارية من كل طراز مع تعديلها لتناسب الاحتياجات المعاصرة.

وقد كتب توماس هوب (Thomas Hope) عام ١٨٣٥ شكياً من تنوع الطرز في إنجلترا قائلاً: «لم يبد أحد بعد الرغبة في الاقتراض من كل طراز معماري ما يمكن أن يقدمه من نفع أو زخرفة

* نشر البروفيسور دوران (Durand) أستاذ العمارة في مدرسة (Ecole Polytechnique) كتابه في جزأين عام ١٨٠٢ - ٥

"Precis des Lecons d'architecture donnees a L'Ecole Polytechnique"

** نشرت هذه المحاضرات فيما بعد في كتاب بعنوان (The True, the Beautiful & the Good, 1853.)

ومن ميزة علمية أو جمالية ، مع إضافة ما يجد من معدات أو أشكال تكفل الراحة أو الجمال ، مع جعل الاكتشافات والفتوحات الجديدة غير المعروفة للأجيال السابقة أمثلة جديدة للتقليد والمحاكاة أكثر جمالا وتنوعاً . ومن ثم تنشأ عمارة في بلادنا نمت في أرضنا في توافق مع جونا ومؤسساتنا وعاداتنا « (٣) .

لم تنتج هذه الفلسفات رغم ظاهرها المنطقي في خلق عمارة حية ، أو حتى في توحيد الاتجاهات المعمارية في بلد معين ، بل شجعت على دراسة كل الطرز السابقة للعالم الغربي ، وكذلك طرز الشرقيين الأوسط والأقصى . وتصرف المعماريون كوارثين لكل هذا التراث السابق وبمقدير أقل لقيم التي حكمت هذا التراث السابق . شيئاً فشيئاً حلت الكتب والكتالوجات والمراجع التاريخية محل الملكة الخلق والإبداع وأمتلأت أعمال كبار معماريي العصر باقتباسات حرفية من أمثلة سابقة من عصور مختلفة تجمعها واجهات ودواخل مبانيهم ، وهذه ازدحمت بالزخارف والبروزات والكرانيش والأعمدة والتماثيل والأبراج والأسقف . .

وقد وصف المعماري الأمريكي البروفيسور ليوبولد أرنود (Leopold Arnaud) هذه الفترة بقوله :

« فترة الاقتباس في القرن التاسع عشر كانت تعبيراً عن الثقة بالنفس المتوهمة الناتجة عن معرفة أكاديمية أركيولوجية بمظاهر الماضي — وما هي في الحقيقة إلا بحيرة وبلبلة ناتجة عن عدم دراية بأشكال جديدة غريبة ظهرت نتيجة للتقدم التكنولوجي » (٤) .

عاصرت فترة الاقتباس مراحل تقدم تكنولوجي ثوري في الإنشاء بالحديد الزهر والمطاوع في أواخر القرن الثامن عشر وفي القرن التاسع عشر ، وبالصلب والحرسانة المسلحة في النصف الثاني من القرن التاسع عشر . ظهرت هذه المواد الإنشائية ذات الإمكانيات الواسعة ولم تلق التفاتاً من المعماريين لأنها مواد غير نبيلة ، مواد من صنع الإنسان ، وليست طبيعية . والمعماريون في هذا كانوا مرتبطين عن عقيدة وذوق وتجربة بالمعتقدات التقليدية التي تقرر أن المواد الإنشائية الطبيعية هي أرقى المواد وأجدرها بالاحترام لكونها مواد دائمة . ولذا فقد التزموا باستعمال الأحجار بأنواعها وألوانها المتباينة من فاتحة إلى بنية قائمة (Brownstone) ، ومن أحجار جيرية هشة إلى جرانيتية صلبة . وفي حالة عدم توافر الحجارة استعملوا الطوب الذي أشبع اتجاهها جمالياً ساد في منتصف القرن التاسع عشر نحو تعدد الألوان فاستعملوا الطوب الأحمر والأسود بمفرده أو مع الحجارة . وربما كان أحسن ما نصف به اتجاه العصر نحو المواد الجديدة ما قاله راسكن في مصباح الحقيقة :

« لا يوجد سبب يمنع استعمال الحديد أو الخشب ، ويبدو أن الوقت قد قرب لظهور قوانين معمارية تحكم الإنشاء المعدني . . . غير أنه من الممكن أن أقرر أن العمارة الحقيقية لا تسمح باستعمال الحديد كمادة إنشائية ، وأن أعمالاً مثل البرج الأوسط لكتدرائية رويان (Rouen) أو الأسقف الحديدية والأعمدة في محطات السكك الحديدية وفي بعض كنائسنا ، لاتعد من الأعمال المعمارية بتاتاً . غير أنه من الواضح أن المعادن يمكن — ومن الضروري في بعض الأحوال — أن تدخل في الإنشاءات لحد محدود . . . كما أننا لا ننكر على المعمارى القوطى حقه في تحميل التماثيل أو الأبراج أو التشابيك بقضبان من الحديد . كما أنى أقدر كيف نسمح لبرونلسكرى باستعمال سلاسل حديدية حول قبتة في فلورنسا أو لبنائى سالسبرى باستعمال روابط حديدية معقدة حول البرج الأوسط . . . إني ما زلت أعتقد أن المعادن يمكن أن تقوم مقام الأسمنتات كروابط لا كحوامل . . . لا يوجد سبب يمنع استعمال القضبان والصواميل الحديدية بدلا من الأسمنت في باطن الحوائط وذلك للوصول إلى نفس القوة والترابط أو زيادتها » (٥).

لقد تكلم راسكن عن الإنشاء الحديدى متأثراً بعاطفته وإحساساته تجاه المادة ، وقد تكلم بعقله في مجال آخر ، بما يناقض عواطفه وإحساساته :

« لا يوجد قانون أو مبدأ مبنى على تجربة سابقة لا يمكن قلبه في لحظة ظهور ظروف جديدة أو اختراع مادة جديدة » (٦) .

هذا الانقسام بين العقل والعاطفة وهو الانقسام الذى يميز التصرفات الإنسانية خلال القرن التاسع عشر ظهرت آثاره في هوة عميقة فصلت بين الفن والتكنولوجيا وبين الفن والحياة ، وبالتالى بين العمارة والإنشاء . ابتعد المعمارىون في أبراجهم العاجية الرومانتيكية عن أى تطور تكنولوجى إنشائى يتم تحت أسماعهم وأبصارهم . لقد تطورت المنشآت الهيكلية بالحديد والزجاج بفضل التكنولوجيين أمثال سير جوزيف باكستون (Sir Joseph Paxton) الذى غطى بوحدات جاهزة ذات معدل ثابت مسطحات قاربت العشرين فدائاً في ستة أشهر في القصر البلورى بهاید بارك عام ١٨٥١ (عامين بعد نشر راسكن لأقواله السابقة) . كما أنشأت بالحديد والزجاج مصانع متعددة الأدوار ومحال تجارية وأسواق وصوبات وصلات معارض دولية في باريس أعوام ١٨٥٥ ، ١٨٦٧ ، ١٨٧٨ بلغت مراحل بعيدة في الكفاية الإنشائية معلنة ثورة في الفراغ المعمارى ، بالغة ذروتها في معرض باريس عام ١٨٨٩ . كل هذا والمعمارى ينظر إلى هذه المنشآت من بعيد معتبراً إياها مباني انتفاعية خارج نطاق الأعمال المعمارية

الفنية التذكارية . وهكذا يتحدد الانقسام في المباني إلى مبان تذكارية وأخرى انتفاعية ، الأولى جديرة باهتمام المعمارى تخصص لها المواد النبيلة والأخرى تترك للمقاولين والمهندسين لتبنى بالحديد والصلب أو الخرسانة المسلحة .

وعندما اضطرت الظروف الاقتصادية والاحتياجات الانتفاعية المعمارين إلى استعمال المواد الحديدية وجدوا لهذه الظروف القهرية حلاً ، ف لجأوا إلى تغليفها بكسوات من الحجارة أو الطوب ، القلب الحديدى أو الخرسانى لحمل الأوزان والعزوم والكسوات من الحجارة والطوب بالطرز التاريخية السابقة .

* * *

لقد عاصر التاريخ الأول للخرسانة المسلحة هذه الفترة بكل مظاهرها — فالمكتشف سواء أكان بناءً أم مقاولاً كان يقوم بتطوير طريقة معينة للإنشاء ، ويحاول تطبيقها في مبنى يعهد برسمه المعمارية لأحد المعمارين الذى يقوم بها على الطراز الذى يفضله دون علم أو دراية بمادة الإنشاء ، ثم يترجم المنفذ الواجهات المرسومة على الورق إلى حوائط وأسقف وكرانيش وأسوار بالخرسانة المكشوفة ، وقد تضطره طبيعة المادة إلى عمل تغييرات في الواجهات وتبسيطات تلائم ظروف العمل ، وينتج عن ذلك مبنى أصله من طراز سائد غير أنه يختلف عن أصله في بعض التفاصيل الطفيفة .

ويعطينا تاريخ الخرسانة أمثلة عديدة على ذلك فنجد أن فرنسوا كونييه كلف سنة ١٨٥٣ المهندس المعماري تيودور لاشيه (Theodore Lachez) لعمل رسوم منزله في سانت دنيس أمام مصنعه (شكل ٢٧) ويعتبر المنزل من أوائل الأمثلة لاستعمال المعمارى للخرسانة في مبنى معمارى ضخيم بكرانيش وأسوار وبراويز حول الشبايك ، ومن الملاحظ أن التصميم أظهر اتجاهها نحو تبسيط التفاصيل الكلاسيكية .

وفي مشروع بناء كنيسة لقسينيه بجوار سانت جرمان على لاي (St. Germain-en-Laye) عام ١٨٦٤ حدث ما يمكن أن نعتبره مثالا لموقف المعمارين من الخرسانة . ففي مسابقتها فاز المهندس المعماري لويس شارل بوالوه* بالجائزة الأولى سنة ١٨٦٢ بتصميم على الطراز القوطى ، وقد استعمل

* المهندس لويس شارل بوالوه هو ابن المهندس لويس أوغسط بوالوه ، والأب من المستعملين الأوائل للإنشاء الحديدى وهو معمارى كنيسة سانت أرجين بباريس .

المعماري عقود وأعمدة من الحديد وحوائط حجرية منحوتة غير حاملة ، ومزخرفة بتفاصيل قوطية . وقد خاب أمله عندما فرض عليه استعمال خرسانة كونييه بدلا من الأحجار في الحوائط . وقد بنيت الكنيسة فعلا سنة ١٨٦٤ وما زالت قائمة في حالة ممتازة بحوائطها الخرسانية غير الحاملة خارج هيكل حديدى من أعمدة وعقود (شكل ٢٨) . ومع ذلك فإن مهندسها المعماري لم يترك فرصة تمر دون أن يتبرأ من كل مسئولية في استعماله . مثل هذه المادة غير النبيلة . وفي خطاب أرسله إلى نقيب المعمارين (Moniteur des Architectes) في ديسمبر سنة ١٨٦٧^(٧) ذكر أنه لم يكن هناك تلاصق كاف بين الطبقات الخرسانية ، وأن الانكماش سبب شذوذاً كل ٥ أو ٦ أقدام ، وأن العمل كلف أربعة أمثال تكاليف الأحجار العادية . أما بالنسبة للشكل الزخرفى فإنه من غير المتوقع أن تنفذ بالخرسانة خطوط أو أسطح بنفس النقاء الذى يصل إليه التنفيذ بالأحجار المنحوتة .

وقد كانت المحاولات الأولى للمكتشفين متجهة نحو إثبات جدارة الخرسانة (الحجر الصناعى كما سميت مكعباتها في إنجلترا) لأن تحمل مثل المباني الحجرية في منشآت من أى طراز معمارى مطلوب . ومن الأمثلة الأولى على ذلك عمارة كونييه (سنة ١٨٦٧) ذات الطوابق الستة بباريس على ناصية شارعى نابلى وميروميسنيل (Naples & Miromesnil) وذات التفاصيل الدقيقة المماثلة لتفاصيل العمارات الباريسية المعاصرة . هذا وقد أضيفت عراميس مدهونة على السطح تقليداً للمباني الحجرية (شكل ٢٩) . كذلك نجد مجموعة المساكن التى بناها هنرى جودوين سنة ١٨٨٥ على شارع زوار (Zoar) بمدينة سوثنوارك (Southwark) بإنجلترا (شكل ٣٠) ذات خمسة طوابق وسقف أفقى وتفاصيل معمارية من كرانيش وعقود منخفضة على محورها (Surbased arches) مما يجعلها وثيقة الصلة بطراز لويس الخامس عشر .

وبالرغم من أن هنريك كان يهدف دائماً إلى إبراز المزايا المعمارية للخرسانة المسلحة — إلا أن أغلب أعماله المعمارية ، فيما عدا الصناعية منها ، سارت في نفس الاتجاه السائد الذى نراه على سبيل المثال في مبناه لمركز شركته السابق الإشارة إليه ، والذى صممه له المعماري إدوارد أرزود عام ١٨٩٨ (شكل ١٩) . وعلى الرغم من أن المبنى استغل المزايا الانتفاعية الناتجة عن الخواص الإنشائية للخرسانة المسلحة في تقليل أسماك الحوائط والأسقف ، مما نتج عنه زيادة في المسطحات والطوابق المنتفع بها — إلا أنه كان أقل نجاحاً في الوصول إلى لغة معمارية خاصة . وقد بنى أرزود تصميمه هادفاً الابتعاد ما أمكنه عن عمارة الإنشاء الحجرى . ولكون الخرسانة مادة مصبوبة ، ومن ثم فإنها تقبل

أى تشكيلات، فقد وجد المعمارى نفسه فى حيرة لعدم وجود أسباب تجعله يفضل شكلاً عن الآخر. وقد كان ما وصل إليه حرية فى الزخارف المصنوعة فى تصميمات وتكوينات مشابهة عموماً لما هو سائد فى باريس فى ذلك الوقت — كامتداد لطراز الإمبراطورية الثانية — من خارجات ذات أركان مشطوفة دائرية، وبلكنات ذات أسوار مخزمة وأعمدة بأركانها تحمل عقوداً مزخرفة وكوابيل وبانوهات مملوءة بالزخارف، الضخمة بالدور السابق للطوايق المرتدة. ولم يترك أنود السطح الخارجى مكشوفاً كما فعل رانسوم بأمريكا، بل غطاه بطبقة أسمنتية.

وقد استعملت الخرسانة المسلحة كمادة مضادة للحريق فى عدة مسارح فى أواخر القرن التاسع عشر، ولم تخرج عمارتها عن الطراز السائدة كما فى مسرح بيرن بسويسرا الذى صممه المهندس ورستمبرجر (Wurstemberger) بواجهة على طراز لويس الخامس عشر وخلفها هيكل خرسانى صممه هنيك، ومسرح ديكورنو (Decourneau) فى آجين Agen بمقاطعة لوت وجارون (Lot-et Garonne) بفرنسا (شكل ٣١)، وهو الذى قالت عنه مجلة (Architectural Record) سنة ١٩٠٩: « يتميز هذا المبنى بأنه على طراز لويس السادس عشر — وقد صممه المعمارى الباريسى المشهور جويلام ترونشيه (M. Guillaume Tronchet) الحاصل على الجائزة الثانية فى مسابقة جائزة روما الكبرى، وهو الآن أحد كبار المماريين المشرفين على القصور القومية بفرنسا »^(٨).

وقد تكرر نفس هذا الاتجاه فى أمريكا؛ وذلك بإضفاء طراز معين على مباني الخرسانة المسلحة. وقد رأينا ذلك فى منزل وارد بپورتشستر الذى صممه المعمارى روبرت مولك من نيويورك بحيث يكون « منزلاً عظيماً مريحاً من الدرجة الأولى، حوائطه كما لو كانت من الطوب بينها فراغات، وأسقفه بالسلك المعتاد الذى يتطلبه البناء بالخشب المغطى بالبغدادلى من الداخل، والمخلى بالبانونات المزخرفة بالبياض »^(٩). والمبنى على طراز الإمبراطورية الفرنسية الثانية، وهو الطراز السائد فى ذلك الوقت فى فيملات نهر الهندس. وهو من طابقين يعلوهما كورنيش على الطراز الدورى والطابق الثالث مغطى بسقف شديد الميل من طراز مانسار (Mansard). وتعتبر أعمدة التراس الدائرى بالدور الأرضى (شكل ٣٢) من مظاهر الاتجاهات الكلاسيكية لهذه الفترة. وعندما نفذت تصميمات مولك بالخرسانة المسلحة، استلزمته الضرورة العملية إجراء بعض التعديلات المعمارية. فالزخارف التى وضع مولك تصميمها لمنزل من الدرجة الأولى بالطوب والبياض بسطت إلى حد ما عند تنفيذها بالخرسانة المسلحة. ويبدو ذلك جلياً فى إطارات الشبايك ذات القطاعات المستطيلة المبسطة (شكل ٣٣). ولم تبدل أى

محاولة لتكسية الخرسانة من الخارج ، فتركت الحوائط الخرسانية مكشوفة دون تغطية بكسوة من الحجر أو البياض أو الطوب . وقد ظهرت التشابيك الخرسانية في ذلك الوقت المبكر في « دراوى » البلكنات (شكل ٣٤) .

ومن أمثلة الطرز الكلاسيكية في الخرسانة المسلحة بأمريكا ، مبنى المتحف الصغير بجامعة ستانفورد بكاليفورنيا (شكل ٣٥) ، والمصمم أصلا لمبنى بالحجر الرملى ، وقد بنيت حوائطه وأسقفه سنة ١٨٨٩ من الخرسانة المسلحة ، وواجهته الأمامية لها مدخل به صفان من الأعمدة الأيونية ويعلمها كورنيش كامل ودروة بها برامق . ورغم الاقتباس الظاهر في هذا المبنى إلا أن أهميته ترجع إلى أنه من أوائل المباني التي عولجت فيها الأسطح الخرسانية بطريقة الدق لإزالة القشرة الاسمنتية الخارجية وإظهار ملمس الركام الداخلى . ومع أن رانسوم قام بذلك محاولة منه لتقليد الحجارة ، إلا أنها تعد محاولة أولى للتعبير عن تكوين الخرسانة ذاتها على السطح الخارجى للمبنى .

ولقد سهلت الخرسانة كمادة قابلة للصب تحقيق أمثلة أخرى لعمارة الاقتباس ظهرت على ساحل أمريكا الغربى ، وهي تهدف إلى إحياء الطرز المحلية التقليدية الإسبانية منها ، وما سبق العصر الكولومبى والتي نفذت أصولها بالطوب والحجارة والخشب . وقد تمت أعمال معمارية كثيرة من هذا النوع في أوائل القرن العشرين في كاليفورنيا وبعض الولايات الجنوبية . وفيها استعملت أسطح مملووعة بالزخارف المعقدة بجانب أسطح ملساء بيضاء من الخرسانة المطلية بالجير في حين برزت الطوابق العليا على كوابيل وهي في مجموعها من مظاهر بعث الطراز الأسبانى . ومن أمثلة ذلك مسرح هوليوود (Hollywood Playhouse) بهوليوود - كاليفورنيا (شكل ٣٦) ، أما مسرح المايان Mayan بلوس أنجليس كاليفورنيا (شكل ٣٧) فمثل من أمثلة بعث طراز ما قبل العصر الكولومبى . كما قلادت الطرز الفرعونية والإسلامية والصينية بالخرسانة في عمارة هذه المنطقة كما نرى في مخزن داوسن (Dawson) المضاد للحريق في ستكتون (Stockton) بولاية كاليفورنيا (شكل ٣٨) ، ومعبد الملائكة بلوس أنجليس (شكل ٣٩) ، ومسرح جراومان (Grauman) الصينى المشهور بهوليوود (شكل ٤٠) .

الثورة على الاقتباس ارتفعت أصوات كثيرة وخاصة في النصف الثانى من القرن التاسع عشر تنقد التدهور السائد في التصميم المعماري ، والانقسام الذى يتزايد بين المعماري والإنشاء الحديد ، والذى كانت من ظواهره وجود مدرستين في باريس ، إحداهما لتدريس العمارة وهي مدرسة الفنون الجميلة (Ecoles des Beaux-Art)

والأخرى لتدريس العلوم الهندسية (Ecoles Polytechnique). وقد اعترض فيوليت لى دوك (Viollet-Le-Duc) على ذلك بقوله : « يجب تعليم وممارسة العمارة والإنشاء فى آن واحد . فإن كان الإنشاء هو الوسيلة ، فالعمارة هى الغاية » (١٠) .

وقد عبر سيزار دالى (Cesar Daly) عن هذه الروح الجديدة سنة ١٨٤٩ بقوله : إن عمارة جديدة تنقلنا من ركود الماضى . ومذلة الاقتباس هى مطلب كل فرد وهى ما ينتظره الشعب بفارغ صبر (١١) .

ما هو الطريق لهذه العمارة الجديدة ؟ إن الشعراء كتبوا ليوجهوا المعمارين للطريق الجديد ومنهم تيوفيل جوتييه (Theophile Gautier) الذى قال سنة ١٨٥٠ : « الإنسانية ستنتج عمارة جديدة فى الوقت الذى يتم فيه استعمال الوسائل الجديدة التى أنتجتها الصناعة الحديثة . وقد رأينا أن استعمال الحديد سمح باستعمال أشكال جديدة فى محطات السكك الحديدية والكبارى المعلقة وعقود الصوبات (١٢) .

هذه الأشكال الجديدة المنظورة التى أشار إليها جوتييه ، جميعها قام بها مهندسون إنشائيون لمعت أعمالهم فيما بعد لتكون جزءاً هاماً من تاريخ عمارة القرن التاسع عشر ، وفيها لعب الإنشائي أهم دور ، بينما لم يزد دور المعمارى إلى جانب وضع التخطيط العام ، على مجرد إضافته لبعض الحليات هنا وهناك حتى تصبح الواجهة قريبة بقدر المستطاع إلى الذوق العام فى ذلك الحين . هؤلاء الإنشائيون وصفهم هنرى فان دى قلند بقوله : « هناك مجموعة من الرجال يجب منحهم لقب الفنان . هؤلاء الفنانون الذين ابتدعوا العمارة الجديدة هم الإنشائيون . إن الجمال غير العادى فى أعمال المهندسين يرجع إلى عدم إدراكهم لاحتمالاتها الفنية — كما كان خالقو الكتدرائيات الجميلة غير مدركين لعظمة تصميماتهم (١٣) .

وقد كان على المعمارى فى هذا الوقت اللحاق بالإنشائي ، وإلا فقد قدرته وحرية فى مجال التصميم المعمارى . لقد أصبح على المعمارين أن يجدوا التطبيق العملى لما جاء فى أقوال فيوليت لى دوك .

« من الضرورى أن نقرر ، حتى لو اعتبرنا غير متحضرين ، أن جمال المنشأ لا ينبثق من التحسينات التى تصحب حضارة متقدمة ، أو نهضة صناعية عظيمة ، وإنما من حسن استخدام المواد والوسائل التى توضع تحت تصرف البناء . وقد ينتج أحياناً مبنى معيب وسخيف ومثير للسخرية لاتدعمه أسباب منطقية أو اقتصادية بالرغم من استعمالنا مواد عديدة وعمال مهرة ، فى حين أنه من الممكن الوصول إلى منشأ جميل ومترايط باستعمال الحجر أو الخشب فقط » (١٤) .

اتجهت مجهودات المعماريين الخلاقين في نهاية القرن إلى محاولة الوصول إلى الحلول المعمارية السليمة التي تضمن حسن استخدام المواد والوسائل التي توضع تحت تصرفهم ، ومنها الحديد والصلب والخرسانة المسلحة ، وذلك بالتعمق في دراسة طبيعتها الإنشائية والفنية .

وقد أثارت الخرسانة المسلحة بالذات عدة اتجاهات ومناقشات متناقضة ، فبينما تثير في المجددين من المهندسين روح التجربة لما تفتحه من مجالات في التصميم ، فإنها أثارت في غيرهم — وخاصة الذين تأثروا بآراء جون راسكن المثالية — دافعا لتفادي استعمالها كلية لأنها مادة استعمالها الرومان ، وتبعاً لراسكن تكون محرمة ، بالإضافة إلى اعتباره استعمال أى زخرفة مصبوغة من الأخطاء المعمارية (١٥) .

وقد كانت أغلب المناقشات حول السطح الخارجى الذى يجب أن تظهر به الخرسانة . وتبعاً لراسكن فإنه من الخدع المعمارية معالجة مادة لتبدو كمادة أخرى ، وقد سبب هذا بلبلة أخرى لأن أحداً لم يكن يدرك الطريقة التى يجب أن تبدو بها الخرسانة . كما أن غالبية المعماريين كان ينظرون للخرسانة المكشوفة كسطح غير مقبول نتيجة للون الأسمنت وعدم انتظام الملمس . وهنا وجد المعماريون حلاً أخلاقياً مقنعاً فى بعض مآقاله راسكن عن معالجة الأسطح فى كتابه « المصاييح السبعة للعمارة » . « ليس المفروض على المعماري أن يستعرض المنشأ ، وليس علينا أن نلومه على حجبه أكثر من أسفنا أن التكسيات الخارجية للهيكل العظمى فى الإنسان تغطى كثيراً من أعضائه التشريحية — إلا أن المبنى سيكون نبيلًا بقدر ما يكشف للعين الذكية الأسرار العظيمة لإنشائه » (١٦) .

ويعضى راسكن ليعرف الخداع المعماري للسطح فيقول :

« خداع السطح يمكن تعريفه بأنه إعطاء الشعور بمادة أو شكل غير موجود فعلاً كما هو الشأن فى دهان الخشب ليمثل رخاماً أو دهان الزخارف بشكل بارز إلخ . . . ويجب ملاحظة أن الخطأ فى مثل هذه الأسطح هو تعمد التزييف . وفى هذه الحالة يجب توضيح نقطة بداية ونهاية لهذا الخداع » (١٧) .

أى أنه حسب أقوال راسكن ، ما دام المهندس لم يعتمد الخداع ، أو تغطية السطح بمادة تشبه مادة أخرى ، فإن الفضيلة لم تمس . وهكذا أعطى راسكن لمهندسى العصر الفكتورى فى إنجلترا التصريح بطريقة غير مباشرة ببناء الخرسانة فى داخل الحوائط وتغطيتها بأسطح أخرى ذات أشكال جميلة ، وغير مقلدة لأى مادة أخرى أو استعمالها كقالب لتكسيات ملونة . وبالتطور الذى حدث فى ذلك العصر فى صناعة زخارف التراكوتا والبلاط الملون ، وجد المعماريون فيها حلاً مقبولاً لتكسية الأسطح الخرسانية . كذلك فقد اتفقت

تغطية هذه الأسطح بقطع الموزايكو أو دهانها بالفرسكوم مع تعاليم راسكن في هذا الشأن ، مادامت مثل هذه التكسيات لا تحاول تقليد أى مادة أخرى . كما استعملت مادة التكسية كشدة دائمة في بعض الحالات . والشدات في هذه الحالة كانت من بلاطات وزخارف تراكوتا مثبتة في مكانها بأسياخ حديدية ثم تصب الخرسانة في الداخل . وقد كان هذا الاتجاه نحو استعمال التكسيات الموزايكو والتراكوتا سبباً مباشراً في قلة الاهتمام بتحسين الخرسانة كسطح نهائى للمبنى .

وكما لكل فعل رد فعل فقد قامت اتجاهات أخرى مضادة تنادى بإمكانية تحسين الخرسانة واستعمالها لإنتاج أسطح ملائمة ذات قدرة على تحمل العوامل الجوية . وقد صاحب هذا الاتجاه تحسينات في المواد وطريقة العمل من بينها دهان الشدة بالصابون لمنع التصاقها بالخرسانة ، واستعمال خرسانة منتقاة بجوار السطح الخارجى للشدة ، وتعتمد الصراحة في إظهار فواصل الشدات مع استغلال هذه الفواصل لتغيير اللون وتكوينات السطح الخرساني . وكذلك استعمال ركام من أنواع خاصة كالجرانيت والكوارتز والرمل الملون . ورغم هذه التحسينات فقد ظلت الأغلبية من المعمارين والمقاولين على تخوفها من صحة هذا الاتجاه . كل هذه المحاولات اهتمت بالسطح الخرساني كطريقة للمعالجة المعمارية للمادة — أما بالنسبة للشكل المعماري العام للإنشاء الخرساني ، فقد جرت محاولات صادقة للثورة على اتجاهات الاقتباس وذلك في النصف الثاني من القرن التاسع عشر . هذه المحاولات صاحبت الآراء والأفكار التي قامت كرد فعل طبيعي لفترة الركود في عمارة الخلق المعماري المبدع ، وقد جاءت جميعها نتيجة لدراسة صادقة للإمكانيات الإنشائية للخرسانة المسلحة ومدى صلاحيتها لاستيفاء الاحتياجات المعمارية للعصر .

في هذا الوقت — في نهاية القرن التاسع عشر وأوائل العشرين — اتجمت مجهودات المعمارين الخلاقين من الرعيل الأول بكل حزم وقوة إلى محاولة للوصول إلى الحلول المعمارية السليمة التي توفر احتياجات العصر وتضمن حسن استخدام المواد وطرق الإنشاء التي وضعت تحت تصرفهم ومنها الحديد والصلب والخرسانة المسلحة ، وذلك بالتعمق في دراسة طبيعتها الإنشائية والجمالية . من هؤلاء المعمارين ساليقان وفرانك لويد رايت في أمريكا وماكتوش (Mc-Intosh) في إنجلترا وواجنر وأدولف لوس (Loos) في النمسا وبرلاج (Berlage) في هولندا ، وبيتر بويرنز (Peter Behrens) في ألمانيا ، وأناتول دى بودو (Anatole de Baudot) وبيريه (A. Perret) وجارنييه (Garnier) في فرنسا . هؤلاء جميعاً قادوا اتجاهات لإعادة كسب الميدان المعماري عن طريق إيجاد لغة جديدة لظروف متطورة .

في هذه الظروف المواتية بلغت الخرسانة المسلحة مستوى مقبولا من التقدم التكنولوجي . وبانتشار استعمالها في أنواع مختلفة من المباني سارعت الهيئات الحكومية إلى إصدار القوانين المنظمة التي كان من أثرها الحد من خيال المعمارى من ناحية، والمساعدة على الاعتراف العام بها كمادة إنشائية من ناحية أخرى . ومن ثم فقد كانت الظروف مناسبة والحاجة داسة إلى الوصول إلى التعبير المعمارى السليم بالخرسانة المسلحة بعيداً عن محاولات الاقتباس والمحاكاة . لقد كانت الأرض معدة لأول ضربة فأس . لم تظهر هذه في المباني العامة — مركز التقاليد المعمارية — بل في المباني الصناعية ، تماماً كما ظهرت أولى المحاولات بالحديد في العمارة التجارية في مباني المعارض والمكاتب . مثل هذه المباني أقل الوحدات المعمارية ارتباطاً بالطرز والتقاليد وأكثرها تأثراً باحتياجات المنفعة .

لقد توصل هنيك بالخرسانة المسلحة في المصانع المتعددة الأدوار التي أنشأها إلى تكوينات معمارية استغلت خواص المادة وطبيعة العمل المعمارى فسبق المعمارين في هذا المجال . ففي الهيكل الخرسانى وجد هنيك الحل السليم للإنشاء المضاد للحريق المطاوب لمباني مصانع الغزل . مثل هذا الحل يوفر أكبر مسطحات من الزجاج وبالتالي يسمح لأكثر كمية من الضوء أن تنفذ لصلالات المصنع ذى الأدوار المتعددة . ولما كانت العادة في الإنشاء الحديدي الاحتفاظ بالحوائط السميكة ذات الفتحات الصغيرة، فقد وجد هنيك أن الكمرات والأعمدة الخرسانية من المتانة بحيث يمكن الاستغناء عن الحوائط كلية واستعمال حوائط زجاجية شفافة . وبذا ظهرت فكرة الهيكل الخرسانى المكشوف المعبر عنه على الواجهة، وتكونت واجهات ذات نسب جديدة بالنسبة لأسماء الأعمدة وشكل الفتحات . وقد مرت فترة من الزمن قبل أن يرى المعمارىون في هذا التكوين تعبيراً معمارياً جديداً يمكن استعماله في أنواع أخرى من المباني، وبذا يصبح ظاهرة هامة من ظواهر العمارة المعاصرة .

وقد وصل هنيك إلى هذه الحلول التاريخية في مصنع الغزل الذى بناه عام ١٨٩٥* في شارلز سكس (Charles Six) في توركوان (شكل ٤١) وفي مصنع غزل اخوان باروا (Barrois) في فيف (Five) بجوار ليل (Lille) عام ١٨٩٦ . وفي المصنع الأول عبر هنيك عن الإنشاء بكشفه على الواجهة الخالية من الزخارف ذات الخطوط الرأسية للأعمدة والأفقيات المرتدة للبلاطات والكمرات والأعمدة المتوسطة الرفيعة لتثبيت الشبابيك . وقد أنهى الواجهة بكورنيش بارز ذى كوابيل مزخرفة وسور خرسانى محرم .

* هذه الحلول الممارية بالهيكل الخرسانى المكشوف والزجاج عاصرت الابتكارات الممارية لمباني المكاتب في شيكاغو بالهيكل الحديدي المغلف والزجاج .

وفي مثل لاحق عبر الإطلنطي ، قام رانسوم بتنفيذ مصنع كيلي وجونز (Kelly & Jones) عام ١٩٠٢ في مدينة جرينزبرج (Greensburg) بينسلفانيا على تنسيق عام مشابه ولكن أكثر بساطة وصراحة (شكل ٤٢). هذا التنسيق لا يمت بصلة للطرز السائدة وفيه تأكدت أفقيّات البلاطات والكمرات خارج أعمدة مرتدة وانحصرت بين الاثنين فتحات زجاجية بجلسات مرتدة عن الإنشاء ، كما استعملت أعمدة رفيعة في مستوى الشبابيك لتثبيتها .

وقد وصل هنيك إلى تكوين آخر في مصنع دقيق بناه - الطاحونة المثالية - (Le Moulin Ideal) في مدينة نور (Nort-Loire-Inf.) سنة ١٨٩٨ . وهو مصنع متعدد الأدوار ، ولكن طبيعته تطلبت حوائط صماء بدلا من الزجاج . وقد كانت الطريقة المتبعة في ذلك الوقت لبناء حوائط صماء بين هيكل خرساني ، هي صب حائط مسلح بين الأعمدة والكمرات . وبدلا من ذلك استعمل هنيك في هذا المصنع أعمدة رفيعة سابقة الصب بين الهيكل الخرساني . هذه الأعمدة أصبحت هياكل ، إما لنوافذ صغيرة بها أو لبانوهات سابقة الصنع من الطوب أو الخرسانة . هذا الإنشاء يمثل إدراكاً لمزايا الجمع بين الهياكل الخرسانية المستمرة وبين الأجزاء السابقة الصب . ومع مزايا هذا النظام فإن هنيك لم يكرره في أي من مبانيه اللاحقة .

ورغم أصالة هذه الاتجاهات فإن تأثيرها في العمارة المعاصرة كان معدوماً تماماً ، حيث إنها اعتبرت في هذا الوقت من مظاهر المباني الانتفاعية ، وهذه كما هو الشأن في ذلك الوقت لا تدخل ضمن نطاق الأعمال المعمارية .

ويبدو طبيعياً أن تكون فرنسا هي المسرح المتقدم للأحداث الحيوية المنتظرة . ففيها كان الصراع على أشده بين التقليديين والتحرريين . كما تمت فيها تجارب متتابعة على استخدام الحديد في العمارة في المحال التجارية والأسواق والمعارض الدولية ، هذا إلى جانب كونها أكثر البلاد معرفة بالمادة الحديدية ودراية بتطوراتها المتلاحقة ، كما أن فيها نشأت أكبر المكاتب المتخصصة في تنفيذ هذا النوع الحديد من الإنشاء . ومن الطبيعي - والجو كاه مهياً معمارياً وإنشائياً - أن تتلاحق التطورات المعمارية الأصيلة الخلاقة من حيث الفكرة والتطبيق .

هو من أوائل المماريين الفرنسيين الذين حققوا تشكيلا معمارياً خاصة بالخرسانة المسلحة بعد تجارب سابقة بالحديد والحجارة ، وقد أتاحت له الفرصة لتطبيقها في كنيسة جان دي مونمارتر (Jean de

أناتول دي بودو

Montmartre) الذى صممها سنة ١٨٩٤ وابتدأ تنفيذها فى باريس سنة ١٨٩٧ وأنهاها سنة ١٩٠٥ (شكل ٤٣). وتعتبر الكنيسة من الأعمال الأولى التى قام بها معمارى وتأثر فيها بخصائص الخرسانة المسلحة^(١٨). ويبدو من المهندسين الذين تأثروا بآراء فيوليت لى دوك إلى حد بعيد ، سواء فى إيمانه بمزايا العمارة القوطية ، أو فى إيمانه بضرورة اكتشاف إمكانيات المواد والطرق الإنشائية الجديدة . وكهفتش للآثار القديمة ، وكأحد المعمارين ذوى المكانة فى ذلك العصر ، كانت آراؤه وتصميماته ذات تأثير كبير فى معاصريه من المهندسين الشبان .

وقد استعمل بودو فى هذه الكنيسة طريقة كوتانسين (Cottancin) وفيها يكون الطوب المحفور المسلح بقضبان حديد وحدات الضغط ، والأسمنت المسلح بقضبان من الحديد مدفونة فى خايط من الرمل والأسمنت بدون ركام حجري وحدات الشد . وهذه الطريقة ، ولو أنه استعملها بمهارة — إلا أنها جعلت تكويناته ذات نفع قليل لحركة البحث عن أشكال وأسطح مناسبة للخرسانة المسلحة . فالحوائط المسلحة كانت رفيعة للغاية ، إلا أنها ظهرت من الخارج كالحوائط الطوب العادية . أما الأسقف فكانت من عقود ذات أعصاب من أسمنت مسلح بينها فراغات مملوءة ببانوهات سمكها بضعة سنتيمترات ، وهذه لم تظهر للمشاهد من الداخل . ومما قلل من تأثير هذه الكنيسة على مجرى التطور المعماري أن مسقطها كان تقليدياً (شكل ٤٤) ، كما أن عقود الأسقف كانت متأثرة بالعقود القوطية (شكل ٤٥) . ومع هذا فإن هذا العمل المعماري لا يخلو من استعمال المادة بطريقة جديدة وبتعبير معماري مستحدث ، نراه واضحاً فى رشاقة الأعمدة واستمرارها لتكون أعصاباً رفيعة معقودة تحمل بينها بلاطات خرسانية أو ألواحاً زجاجية . كما ظهرت نسب جديدة فى العقود الحرة الحامة لسقف الطرقات الجانبية وعلى جوانب البهو الأوسط بعدت بها عن المباني الحجرية التقليدية رغم صلتها من ناحية الشكل العام بالطراز القوطي . كما ظهرت إمكانيات الصب بالخرسانة فى الأشكال الحرة الزخرفية للدراوى الداخلية* التى تردد أشكال عقود الأسقف . هذه الدراوى كسيت ببلاطات صغيرة من السيراميك وضعت على الطريقة البيزنطية . وقد اعتبر يبدو السيراميك كسوة طبيعية للوحدات الأسمنتية ومكمل زخرفي لها .

فى مرحلة البحث عن اللغة المعمارية للخرسانة المسلحة ، وخاصة بالنسبة للمباني السكنية المتعددة الأدوار اتجه بعض المعمارين إلى استغلال طبيعتها كمادة بلاستيكية وذلك بتنفيذ اتجاه جديد نشأ كثورة

المهارة العضوية والفن الجديد

* ظهرت هذه الدراوى الزخرفية فى منزل وارد قبل هذا الاستعمال بعشرين عاماً .

على طراز الاقتباس ، وهو اتجاه الفن الجديد (Art Nouveau) . هذا الطراز ظهر في أواخر القرن التاسع عشر كنتيجة شكلية لمبادئ المدرسة العضوية (Organic School) التي نادى بها المهندس المعماري الألماني رايل (M.H. Riehl) سنة ١٨٥٣ . وقد قامت المدرسة العضوية محتجة على تصميم المباني مرتبطة بالسيتمرية الميكانيكية بدلا من تصميمها من الداخل إلى الخارج بناء على الاحتياجات الحقيقية للحياة . وقد سماها سيزار دالى سنة ١٨٦٣ بتسميتها قائلا :

« لقد سميناها عضوية لأننا نراها بالنسبة للمدارس التاريخية والتقليدية كما نرى الحياة المنظمة (Organized) للحيوانات والنباتات بالنسبة إلى الوجود غير المنظم للصخور المكونة لباطن هذه الأرض . كما أنها يجب أن تنمو وتتطور على نمط الكائنات الحية ، لا أن تتكون كالمعادن بإضافة عناصر الواحدة بجانب الأخرى » (١٩) .

وكامتداد شكلي لهذا الاتجاه العضوي أوصى دالى أن تكون وحدات الزخرفة منبعثة من الأزهار الطبيعية وليست من مباني العالم القديم .

وقد وجد معماريو هذه المدرسة أنفسهم في حاجة إلى مادة بلاستيكية تشبع فيهم الرغبة في الانتقال من الخطوط المستقيمة الميكانيكية إلى الخطوط المنحنية الطبيعية . وقد كان تنفيذها في الأحجار صعباً باهظ التكاليف لما يتطلبه من كتل ضخمة من الأحجار تقطع أجزاء كبيرة منها بعد ذلك . وقد كان الحل الواضح هو الوصول إلى مادة بلاستيكية يسهل تشكيلها وصبها . وقد كان الحديد الإنشائي والزخرفي مجالا لتحقيق هذه التشكيلات ، كما اتجهت أنظارهم إلى الخرسانة كمادة تقبل مختلف المعالجات . وقد تم تنفيذ أحد مباني هذا الطراز بالخرسانة وهو مبنى العمارة السكنية للسادة فيليكس بوتان (Felix Potin) بشارع رين (Rennes) بباريس سنة ١٩٠٤ (شكل ٤٦) . وهنا ظهرت صعوبة استعمال الخرسانة في هذا الاتجاه لما تتطلبه من قوالب معقدة بالحجم الطبيعي للبروزات المزخرفة والمنحنيات الدقيقة .

وقد ظهرت طريقة أسهل لتنفيذ الطراز الجديد ، وذلك بعد التطور الذي أحدثه بيجو (Bigot) في طريقة تزجيح بلوكات وبلاطات الطين الحراري . وقد استعملها المهندس الفرنسي لا فيروت (Lavirotte) في بناء عمارة بشارع راب (Rapp) رقم ٢٢٩ بباريس عام ١٩٠١ ، مستعملا البلوكات المزججة المسلحة على طريقة كوتانسين (شكل ٤٧) . وقد تمكن المهندس لا فيروت بهذه الطريقة من تجنب الواجهات

الطوب التي استعملها يبدو، ولكنه أنتج واجهة مملوءة بالبروزات المنحنية المحملة على وحدات ثابتة ضخمة المقياس .

ومع أن حركة الفن الجديد ابتدأت على مبادئ سليمة ثابتة من العمارة العضوية إلا أنها أخذت مظاهر زخرفية صعبة التنفيذ بالحديد أو الخرسانة . هذه الصعوبة العملية كانت سبباً في سرعة اضمحلالها واختفائها من مجال التطور المعماري في أوائل القرن العشرين .

أوجست بيريه يعتبر المهندس المعماري أوجست بيريه من أوائل المعماريين ذوي المكانة المرموقة الذين عاشوا مع الخرسانة المسلحة طوال حياتهم العملية، وصاغوا لها لغة معمارية مستقلة من كل الوجوه .

وقد توصل إلى آراء قوية واضحة لطريقة استعمالها تمسك بها في أعماله . ولذا فكثيراً ما ينسب إليه أنه أبو عمارة الخرسانة المسلحة . وقد لخص بيريه نظريته في مقالة نشرت عام ١٩٣٦ في مجلة (Arkitektura S.S.S.R.)^(٢٠) وفيها اعتبر المادة كتلة مستمرة تتطلب شداتها الخشبية التصميم على أساس وحدات إنشائية مستقيمة الأضلاع وقوتها تبلغ الحد الذي يجعلها لا تحتاج إلا لأعمدة رفيعة يرتكز عليها الهيكل بأكمله وتمتد القواطع بينها .

وقد تأثر بيريه بآراء فيوليت. لي دولك في كتاب الأخير :

(Dictionnaire Raisonné de L'architecture Française du XI au XVI Siecle)

وقد قرأه بيريه في سن العاشرة وثبت تأثره به طول حياته الفنية . وقد اعترف بيريه بأن فيوليت لي دولك هو معلمه الحقيقي ، وأنه هو الذي حماه من تأثير مدرسة الفنون الجميلة العليا بباريس . وقد كان تأثير فيوليت لي دولك على بيريه في أفكاره التي ردها دائماً عن الوقار الإنشائي وفي تأكيد المستمر بأن العمارة لن تصل إلى التكوينات الجديدة الأصيلة ، إلا إذا كانت هذه منبعثة من الاستعمال السليم لطرق الإنشاء الحديث ، وفي اتهامه المباشر لاتباع راسكن الذين يلبسون المواد الإنشائية كساء من البياض أو الطوب . وقد وجد فيوليت لي دولك هذه المبادئ السليمة مطبقة وواضحة في عمارة العصور الوسطى حيث اندمج الإنشاء والعمارة وتكونت كل وحدة معمارية نتيجة لحاجة إنشائية ، وحيث لا يمكن إضافة أو حذف أي شكل زخرفي فيها دون المساس بمتانة وصلابة المبنى . ومن الطبيعي تصور تأثير مثل هذه الأفكار والآراء في مهندس ناشئ كأوجست بيريه منذ دخوله كطالب في مدرسة الفنون الجميلة بباريس إلى خروجه منها بدون أن يتقدم بمشروع للدبلوم رغم انتهائه من استيفاء جميع الطلبات السابقة لذلك . وقد تتلمذ فيها على يد البروفسير جوديه (Gaudet) وإليه يرجع

الفضل فيما وصل إليه بيريه في التصميم والتكوين والوعي الكامل للنسب والمقاييس الكلاسيكية وطريقته في تحليل العناصر المعمارية وثقافته المعمارية، رغم إصرار بيريه المستمر على نفي أى تأثير لمدرسة الفنون الجميلة عليه.

وقد ابتداءً أوجست بيريه حياته العملية سنة ١٨٩٥ ببناء عدة مباني حجرية ، إلى أن شرع سنة ١٩٠٢ في بناء عمارته الشهيرة رقم ٢٥ ب شارع فرانكلين بباريس ، والتي اتحدث آراء المؤرخين على اعتبارها أول عمل استعملت فيه الخرسانة المسلحة كعنصر للتعبير المعماري المقصود (شكل ٤٨) . وفيها يتكون كل دور من شقة من ست غرف وحمام وسلم رئيسي وسلم خدم ومصعد . والحجرات ملتفة حول غرفة الصالون في الوسط ومضاءة من منور مكشوف على الواجهة الضيقة (١٦ متراً) . والحديد في إنشاء هذه العمارة اختفاء الحوائط الداخلية الحاملة التي حلت محلها أعمدة رشيقة بينها حواجز ثابتة أو متحركة . وقد هيا هذا المسقط المفتوح الامتداد بين الحجرات ، وأصبح ذلك حدثاً هاماً في المباني السكنية وتطوراً هائلاً في تكوين الفراغات السكنية الداخلية . وتعتبر واجهة هذه العمارة تطوراً هائلاً بعيداً عن واجهات الفن الحديد المعاصرة وعن واجهات لويس الخامس عشر السائدة في باريس في ذلك الوقت . فالعمارة تتميز ببساطتها وباختفاء المنحنيات كلية واستعمالها الأسطح المستوية المتعامدة (شكل ٤٦ ، ٤٧) . وقد استعمل بيريه لتكسية خرسانة الواجهة ، وهي التي قام بتنفيذها مقاول آخر من الباطن ، بلاطات السيراميك على الطريقة التي اكتشفها الكيماوي ألكسندر بيجو لعدم ثباته في ذلك الوقت بجودة السطح الخرساني المكشوف (شكل ٤٩) . وقد استغل بيريه هذه التكسيات السيراميك كوسيلة للتعبير عن عناصر الواجهة المختلفة . فالوحدات الحاملة كساها ببلاطات مسطحة بسيطة ، أما الحوائط غير الحاملة فقد دفن فيها بدون انتظام بلاطات من ثلاثة أو أربعة أشكال لأوراق جوز الهند . وبهذه الطريقة ظهر الهيكل الإنشائي واضحاً قوياً على الواجهة بجانب المظهر غير الإنشائي للحوائط غير الحاملة ، كل ذلك في تكوينات في حدود لون واحد (Monochrome) . هذا الاستعمال يعطينا مثلاً قائماً لتبعية الوحدات الزخرفية للإنشاء ومدى ترابط وتكامل العنصرين معاً .

وفي عام ١٩٠٥ استعمل أوجست بيريه الهيكل الخرساني المكشوف في جراج سيارات رقم ٥٠ شارع پونشيو (Ponthieu) في حي راق بباريس (شكل ٥٠) . ويعد هذا المبنى عملاً فنياً رائعاً حتى بمقاييس وقتنا الحالي ، وفيه تتجسم بجرأة منافية للذوق السائد في ذلك العصر تكوينات رائعة بسيطة للغاية بهيكل خرساني مكشوف بينه ألواح زجاجية غير حاملة . ومن السهل أن نقارن هذا المبنى بما سبقه على نفس الخطوط الإنشائية من مباني هنيئك الصناعية لنرى تأثير المعماري في تطوير التكوين الإنشائي

ليصبح عملاً فنياً متكافئاً . نرى الفارق في الاتساع المتعمد للباكية الوسطى التي تحوى المداخل ، والبروز المؤكد للأعمدة المحيطة بهذه الباكية ، والمعالجة الزخرفية بالبانوه الزجاجى الأوسط ، والإيقاع السريع المنتظم بالدور الأخير داخل التكوين الإنشائى العام . وبهذا العمل المعمارى فى بداية القرن العشرين وصل بيريه بالهيكل الحرسائى إلى ذروة التعبير المعمارى .

ومع ذلك فقد أصيب هذا التقدم فى معالجة السطح والتشكيل المعمارى بنكسة عندما نفذ الأخوان بيريه سنة ١٩١١ ، بتصريف كبير كمقاولين ، رسومات المهندس الفرنسى روجيه بوڤار (Roger Bouvard) لمسرح الشانزلزيه ، والذي قام المهندس البلجيكي فان دى قلند بعمل رسومات خاصة لواجهاته وتصميمه الداخلى . وقد هاجم أوجست بيريه التصميمات الخارجية والداخلية لأنها غير مطابقة للإنشاء ، وكذلك هاجم طريقة الإنشاء لأنها غير عمالية ، وبذا خلا الميدان له للتصرف فى التصميمين الخارجى والداخلى ، وكان أول تغيير أدخله هو الاستغناء عن تكسية الإنشاء بالمباني الحجرية . كما غير الإنشاء كلية من ثمانية أعمدة على مسقط بيضاوى للمسرح الكبير إلى أربع مجموعات من عمودين على أركان لبشه مسلحة مربعة للأساسات . وبذا أصبح مسقط المسرح الكبير دائرياً بدلاً من بيضاوى . ومن الامتداد المركزى للشبكة المكونة من أربع مجموعات من الأعمدة المزدوجة كون الهيكل الإنشائى لبقية المبنى بما فيه الواجهة ومن التجديدات الإنشائية التى استعملها عقدين ببحر ٢٤ متراً فوق المسرح الكبير ، ومنهما علقمت غرفة بروقات فوق القبة الداخلية لصالة المسرح .

ومن الأسس التى أحترمها بيريه فى هذا المبنى مراعاة أن تكون الزخارف منبعثة تماماً من الإنشاء . فقد تركت الكمرات والأعمدة مكشوفة فى الدواخل بدون أى تغطيات ، أو تغليفات أو إضافات . وأصبحت هى فى ذاتها وحدات الدواخل الرئيسية ، مكونة لبانوهات فى السقف ، مكملة لأعمدة دائرية أو مربعة بدون رعوس أو قواعد بحيث ظهرت الدواخل قاسية عارية بالنسبة لنقاد عصره ، وخالية من أى نحت حر ، اللهم إلا فى بانوهات محدودة فى الداخل وعلى الواجهة الرئيسية . وقد كان هذا تطبيقاً لإيمان بيريه الكلاسيكى بأن النحت يجب أن يكون تابعاً للعمارة . وقد ظهر هذا التطبيق فى واجهة المسرح حيث وضعت بانوهات منحوتة بين الأعمدة الإنشائية . ورغم التطور الكبير الذى أدخله بيريه فى الإنشاء والتصميم الداخلى ، إلا أنه رجع بالواجهة إلى تكوينات كلاسيكية معروفة مرتبطة إلى حد ما بما اقترحه هنرى فان دى قلند المصمم الأصلى للواجهة (شكل ٥١) . وقد استعمل جانين مسلودين وقسم ما بينهما إلى ثلاث باكيات بها فتحات مستطيلة رأسية محاطة ببانوهات وتكسيرات

متلاحقة، ويعلو الفتحات بانوهات صغيرة صماء، ويعلو الثلاث باكيات ثلاثة بانوهات زخرفية بارزة، كما ختم المجموعة بكورنيش بارز. والواجهة جميعها مكسوة بالرخام الرمادي اللون. ومن الواضح أن بيريه حاول عامداً أو مرغماً الوصول إلى طابع ووقار المباني العامة، ومع ذلك فلم ينجح في إرضاء معاصريه ونقاده العديدين، كما أنه لم ينجح في التعبير عن طبيعة الإنشاء الخرساني.

من المهم هنا أن نلاحظ التطور الذي أحدثه بيريه في المعالجة الشكلية للعناصر المعمارية. وإذا ابتدأنا بالأعمدة نجد أنه كان مولعاً بالأعمدة الحرة، لأنه اعتبرها رمزاً للعمارة في جميع العصور. فالأعمدة تعبر أكثر من غيرها عن عظمة العمل المعماري في مقاومة الجاذبية الأرضية، وعن الصراع بين الرغبة والعزيمة*. هذا بجانب التأثير النفسي القوي الذي يحدثه الإيقاع المتناقص لصفوف الأعمدة المتتابعة والتأثير البصري الذي يسببه ذلك الإيقاع بالنسبة للإدراك الصحيح للمقياس الداخلى وفي خلق توقعات لعناصر مهمة في المسقط. ومهندس فخور بمادته، وكما قال ذي حساسية لطرق الصناعة، وصل بيريه لطريقته الخاصة لمعالجة الأعمدة الخرسانية كنتيجة لطرق الصب وليس لطبيعة المادة ذاتها كمادة متماسكة مستمرة. وقد أصبح واضحاً أمام بيريه أنه بالرغم من استمرار الأعمدة الخرسانية من الناحية الحسابية النظرية فإن إنشاءها ليس في الحقيقة مستمراً، وقد كان من نتيجة ذلك أن أعمدة بيريه منتهية معمارياً عند السقف، على اعتبار أن أعمدة كل دور تصب لكل سقف على حدة. وكما هو التصميم في مسرح الشانزليزيه، فقد استعمل بيريه أعمدة منتهية إلى سقف مكون من شبكة مستمرة من الكمرات، أي إن الاستمرار هنا أفقى ومرئى. كما استغنى بيريه عن المشاطيف (Haunches) التي كانت من مظاهر الإنشاء الخرساني حتى ذلك الحين، وذلك لأن الشدة الخشبية الأفقية أسهل في الصناعة. أما من حيث معالجة سطح الأعمدة فقد غطاها بيريه في المسرح بالرخام أو البياض. وقد أتاحت له فرصة لتطوير ذلك في مبنى ديني هام وهو كنيسة نوتردام دى رانسى (Notre Dame du Raincy) بباريس سنة ١٩٢٢ (شكل ٥٢). وقد كانت النتيجة مبنى من أكثر المباني تطوراً في الربع الأول من القرن العشرين. وقد ابتعد بيريه في هذا المبنى تماماً عن تقاليد العمارة الكنائسية. وفيه استعمل أربعة صفوف من أعمدة دائرية يتناقص قطرها من ١٧ بوصة في القاعدة إلى ١٤ بوصة في أعلاها على ارتفاع ٣٧ قدماً - وقد اختارها دائرية لأنها أكثر كفاءة لإنشائها، ولتساوى قوتها في جميع الزوايا، ولجمالها نتيجة لتدرج الظلال، ولعدم اختلاف عرضها مع اختلاف زوايا المنظور. وقد تركت

* كما قرر ذلك شوبنهاور في تفسيره لسر جمال الإنشاء المعماري.

هذه الأعمدة مكشوفة ، ولتلافى ظهور أى عيب فى خرسانتها استعمل بيريه فى شدتها مجموعة من القنوات (Flutes) ، وهذه لم تكن منحنيات دائرية منتظمة كما فى الأعمدة الكلاسيكية ، ولكن مجموعة من البروزات الدائرية والزوايا وهى أكثر قرباً للأعمدة القوطية المركبة . وقد كوّنت هذه الأعمدة صالة وسطى بحرها ٣٣ قدماً وأجنحة بنصف هذا العرض . وهى تحمل سقفاً مزدوجاً ، الداخلى منه عبارة عن قشرة سمكها أقل من ٢ بوصة على شكل قبة بطول الصالة الوسطى ، أما الجناحان فتغطيهما داخلياً مجموعة من القباب المتعامدة . أما السقف الخارجى فهو على شكل مزدوج الانحناء مكون من بلاطات مقوسة على كمرات دائرية متعامدة على المحور الرئيسى للمبنى .

وقد استعمل بيريه القشرات الخرسانية (Thin Shells) فى مرحلة مبكرة من تطورها فى مجموعة من مباني المنافع العامة كمبنى أرصفة ميناء الدار البيضاء سنة ١٩١٦ ، وفى مصنع الملابس إسدريز (Esders) سنة ١٩١٩ (شكل ٥٣) ، ثم فى ستوديوهات ديكورات المسارح بشارع أوليفييه - مترا (Olivier-Metra) بباريس سنة ١٩٢٣ (شكل ٥٤) . والعقود والقبو القشرى المستعملة فى كل على التوالى لم تكن على هيئة قطاع ناقص بل دائرية ، وتراوح سمك الخرسانة فى أعلى نقطة فيها بين ٢ ، ٣ بوصات .

ومن الملاحظ فى كنيسة نوتردام دى رانسى أن بيريه فصل الأعمدة الخارجية عن الحوائط ، وبهذا أمكنه أن يستعملها دائرية كالأعمدة الداخلية ، وبهذا أضاف لصفين من الأعمدة الداخلية صفين آخرين مما أضاف اتساعاً للكنيسة . ووراء الأعمدة الخارجية تمر الحوائط الخارجية حرة مستمرة . وهنا أدخل بيريه تطوراً أثار اهتماماً كبيراً فى ذلك الحين ، وهو استعمال حوائط التشايبك (Claustra) وهى مكونة من بانوهات مفتوحة سابقة الصب مربعة طول ضلعها قدمان ، كل منها يحوى فتحات مستطيلة أو مثلثة أو دائرية مغطاة بالزجاج الملون . والتأثير العام لهذا التكوين رائع للغاية لأن مجموعة الألوان تكون تدرجاً مرتباً حسب التسلسل الطبيعى للألوان من الأصفر المتير عند المدخل إلى الأزرق القاتم عند الطرف الشرقى ، ومن الخارج أصبح الحائط عبارة عن مجموعة تكوينات هندسية ، وقد حصرها بيريه فى خمسة أشكال - صليب داخل مربع - دائرة داخل مربع - معين داخل مربع ونصف مربع وربع مربع . وبترتيب هذه الأشكال متكررة فى كل باكية عبر بيريه عن انتظام الإنشاء بدون حاجة لوجود الأعمدة بارزة على خارج المبنى . وقد استعمل بيريه نفس تكوينات التشايبك فى الداخل فى أسوار السلام والصور الحاجز لمنطقة المذبح وفى فتحات البرج المرتفع (٢٢٠ قدماً) . ويقع هذا البرج على الجانب الغربى للمبنى ، وتكونه أربع مجموعات من أربعة أعمدة من نفس مقاسات

بأشكال الأعمدة الداخلية . وقد أصبحت هذه التشابيك من خصائص عمارة أوجست بيريه الظاهرة ،
 وقد كرر بيريه نفس العناصر التي ظهرت في كنيسة نوتردام دي رانسي أو مشتقاتها في كنائس أخرى
 بمائلة ، منها كنيسة سانت تيريز (St. therese) في مونتمانى (Montmagny) سنة ١٩٢٥ (شكل ٤٨٩)
 ومشروعه لكنيسة في كارمو (Carmaux) سنة ١٩٣٨ . وقد اتجه في تصميماته اللاحقة إلى زيادة مسطحات
 الأجزاء الصماء على حساب مسطحات التشابيك نتيجة ملله منها بعد أن أصبحت شائعة ، ورغبة منه في
 توحيد العناصر المستعملة في الأنواع المختلفة من المباني . ويظهر ذلك في آخر وأكبر كنيسة له سانت جوزيف
 (St. Joseph) في الهاثر سنة ١٩٥٣ ، وفيها استعمل أشرطة رأسية من التشابيك بين حوائط خرسانية
 صماء * .

وقد طور بيريه نظريته للأعمدة التي رأيناها يستعملها في كنيسة رانسي على النمط الكلاسيكي
 بقطر يتناقص كلما بعد عن القاعدة ، وذلك بالتساؤل عن حكمة ذلك بالنسبة لمادة بلاستيكية كالخرسانة
 المسلحة . ففي حين كان هذا الاستعمال منطقياً بالنسبة للأعمدة الحجرية إلا أنه غير منطقي بالنسبة
 للأعمدة الخرسانية التي تكون كتلة متصلة مع السقف ، ويمكن أن تكون حرة في القاعدة . مثل ذلك
 لا يوجد في الإنشاء الحجري بل في الهياكل الخشبية كالأطاولات التي تتناقص أرجلها إلى أسفل وذلك
 لاحتياجها لكتلة أكبر عند تلاقيها مع السطح الأفقي * * ، وهو تشابه سليم إذا لم يكن العمود جزءاً من هيكل
 متعدد الطبقات كما في أعمدة صالات الدور الواحد . وقد استعمل بيريه مثل هذه الأعمدة في متحف
 الأشغال العامة بباريس سنة ١٩٣٨ ، وفيه يرتكز السقف العلوي على أعمدة دائرية خارجية مستقلة عن
 الإنشاء الداخلي للأسقف الداخلية (شكل ٥٥) . والأعمدة الخارجية ذات قطر ٩٠ سم عند القاعدة
 و ١٢٠ سم عند نهاية ارتفاعها (١٣,٥ متر) . ويتفق هذا الشكل مع كميات الحديد المستعملة
 في العمود وهي تبلغ في السلس الأعلى من العمود ستة أضعاف ما في أسفله . وقد أصبح هذا الشكل
 مقبولا للأعمدة الخرسانية فيما بعد وخاصة للصالات العامة ذات الطابق الواحد . وقد شكل بيريه أعمدته
 الدائرية على شكل متعدد الأضلاع وذلك لتسهيل عمل الشدة الخشبية . ولتلافى عيوب الخرسانة ، ولصعوبة
 عمل القنوات في الشدة الخشبية ، استعاض بيريه عنها بإزالة الغطاء الأسمنتي من وسط كل ضلع تاركاً

* في هذه الكنيسة استعمل بيريه برجاً عالياً أوسط مزججاً بتشابيك ، وذلك لاستغلال التأثير الدرامي لشيء العلى
 والإضاءة العلوية . وقد استعمل نفس التكوين قبل ذلك في مشروعه لمسابقة كنيسة القديسة جان دارك سنة ١٩٢٦ .

* * استعملت أمثلة من هذه الأعمدة في مسينا Mycaenea في بوابة الأسود وهي مستوحاة من الإنشاء الخشبي .

الأركان على حالها ، وبهذا تكونت سلسلة مجار بسيطة في العمود ناتجة عن طبيعة عملية صب الخرسانة ذاتها . أما طريقة معالجة نهايات هذه الأعمدة فقد وجد بيريه أنه لا داعي لوجود قاعدة ، وبالنسبة لرأس العمود كان من الضروري عمل اتصال انسيابي بين العمود والكمرة فوقه لسهولة اتصال التسليح بينها . ومع أن بيريه أهمل هذا الاتصال في أعمدة مسرح الشانزليزيه وفي كنيسة نوتردام دي رانسي إلا أنه واصل البحث عن حل لهذا الاتصال حتى نفذه في الأعمدة الخارجية لمتحف الأشغال العامة . وفيها تحولت الأعمدة من دوائر إلى مربعات أوسع عند اتصالها بالكمرات ، وذلك عن طريق سلسلة بروزات صغيرة على شكل أوراق الشجر أو صدفات البحر (شكل ٥٦) .

أما بالنسبة للكمرات فقد قرر بيريه من وقت مبكر في حياته ، كما رأينا في عمارته بشارع فرانكلين ، أنه من الواجب إظهارها وتوضيحها داخلياً وخارجياً ، وذلك للتعبير عن الإنشاء عامة ، وعن الخرسانة المسلحة بصفة خاصة . ومن ثم فقد أصبح الطابع المميز لتصميماته إظهار الكمرات والأعمدة الحاملة لها مكشوفة على واجهات مبانيه ، وقد اختار أن تكون كمراته بارتفاعات ثابتة على الواجهة لتسهيل عمل الشدات ولتوحيد خطوط الواجهات . وفي الدواخل استعمل بيريه تجارب الإغريق في تحسيناتهم البصرية ، فقسم جوانب الكمرات إلى جزأين أفقيين لتلافي ضخامتها ، كما أعطى الكمرات المنحنية بسيطاً إلى أعلى لتلافي الخلد البصري بالهبوط الذي يصاحب الكمرات الأفقية تماماً . أما بالنسبة لتلاقي الأعمدة بالكمرات فلم يقبل بيريه الحل الهندسي السائد في ذلك الوقت ، وهو أن يستمر العمود إلى السقف بعد تقابله مع الكمرة التي تقل عنه في السمك ، لأن ذلك يترك أجزاء بارزة من العمود غير منسقة أو محدودة . وقد اتجه بيريه إلى عمل كمرات أعرض قليلاً من الأعمدة الحاملة لها بتكوين يعبر عن طبيعة عملية الصب ، حيث إن الأعمدة تصب لكل دور على حدة ، أما السقف فيصب مستمراً . وفي حالة كبر هذه الأعمدة مما يترتب عنه كمرات عريضة كان تصميمه يتجه إلى عمل تجويف أسطواني في بطنية الكمرة لتلافي مظهرها الضخم .

وقد كان اتجاه بيريه نحو الهيكل الإنشائي المستقيم الأضلاع . وهو يختار المسافة بين الأعمدة التي تناسب الوحدات المختلفة الداخلة في البرنامج ، ويثبتها لكل المشروع حتى يصل إلى الوحدة المطلوبة لعناصر المبنى . وما إن يستقر على الهيكل الإنشائي حتى يلتفت إلى تكوين الحوائط ، وهذه مملأها بزجاج من العمود إلى العمود كلما كان ذلك مرغوباً فيه كما في ستوديو بيريه الخصوصي بعمارة بشارع فرانكلين وفي الجراج بشارع بونثيو أو في مصنع ملابس إسدير وفي ستوديوهات ديكورات

المسارح بشارع أوليفيه - مترا بباريس . أما في مبانيه العامة فكان يفضل استعمال الفتحات مع الأكتاف بإيقاع منتظم . وبالنسبة للحوائط الخرسانية فقد كان المتبع فيها عندما بدأ بيريه عمله أحد حلين : الأول وهو صب حائط خرساني بين الأعمدة مع ترك الفتحات اللازمة ، والثاني هو بناء الحوائط بالطوب مع مراعاة ترك الفتحات ، وكلا الطريقتين له مميزاته وعيوبه . وقد حاول بيريه أن يكون الحشو من نفس طبيعة وملمس الهيكل مع تفادي ضخامة الحائط الخرساني المصبوب على الموقع . وقد وصل إلى صنع طوب خرساني خاص بمقاسات خاصة تناسب الفتحات . وقد طور بيريه هذه الطريقة عام ١٩٢٩ في بنائه عمارته بشارع رينوارد (Raynouard) (شكل ٥٧) ؛ وذلك باستعمال بانوهات خرسانية رقيقة سابقة الصب على الموقع ، ومربطة بعضها ببعض بأسياخ رأسية وأفقية مدفونة في مجار بأحرف البانوهات ومربطة بالأعمدة . ثم استعمل في متحف الأثاث القومي (Mobilier National) عام ١٩٣٥ (شكل ٥٨) أعمدة خرسانية ثانوية بين الهيكل الرئيسي ثبت بينها البلاطات السابقة الصب دون الحاجة إلى ربطها بالأسياخ الحديدية . وباستعمال نفس الأعمدة الثانوية حول الفتحات بنفس المسافات توصل بيريه إلى توحيد الإيقاع في جميع الباكيات ، وإلى الاقتصاد في التكاليف نتيجة لتوحيد مسطحات البانوهات .

وقد اهتم بيريه بالسطح الخرساني منذ عام ١٩٢٠ حين ابتداء في استعمال طريقة الطرق (Bush-hammering) مع أنها استعملت من مدة طويلة في أمريكا . وربما يرجع ذلك إلى أنه في ذلك الوقت أصبح استعمال المهنات (Vibrating machinery) كفيلاً بالوصول لخرسانة متماسكة . وما إن ابتداء بيريه في ذلك حتى اتجه إلى تحسين الأسطح ، وذلك بالاعتناء الشديد بالملمس واللون . ومن بين أنواع الركام التي استعملها كسر أحجار حمراء ، وهذه تكون مع الأسمنت الأبيض أسطحاً وردية مركبة متغيرة في الشدة حسب حجم الركام المستعمل . وقد راعى بيريه دائماً تجنب استعمال البياض الكلية حتى إنه كان يفخر دائماً بأن متحف الأشغال العامة لا يحوى سنتيمتراً مربعاً واحداً من البياض الداخلى أو الخارجى . وقد كانت أسطحه دائماً من الخرسانة والخشب والمعادن والزجاج والطوب . وقد أصبح من معتقداته التي احترمها دائماً أن المواد الإنشائية يجب أن تعرض أسطحها الطبيعية حيث إن الإنشاء هو زخرفة العمل المعماري الخالد .

توفى جازنييه من الجيل الأول للمعماريين الفرنسيين ومن معاصري بيريه المهندس توفى جازنييه وهو يمتاز بمشروعاته

ورسوماته ولو أن أعماله بالحرسانة المسلحة قد اتخذت اتجاهاً مخالفاً لاتجاه بيريه . فبينما نظر إليها بيريه كمادة قوية تتحمل التشكيل في وحدات خطية رشيقة ومسطحات فعالة رقيقة، عالجها جازنييه في أعماله على أنها مادة ثقيلة متماسكة تتشكل في وحدات ضخمة أقرب ما تكون إلى الحرسانة الرومانية . ونتيجة لهذا اتخذت خرسانات جازنييه أشكالاً ضخمة ذات نسب حجرية .

التأثير الأكبر الذي أحدثه جازنييه في التطور المعماري عامة وفي عمارة الحرسانة المسلحة خاصة في أوائل القرن العشرين لم يكن في أعماله المنقذة ، بل في مشروعه الخيالي الذي قام به في شبابه في أواخر القرن التاسع عشر (المدينة الصناعية Cité industrielle)^(٢١) . مثل هذه المشروعات الخيالية لم تكن المستقبل كانت فرصاً للمعماريين الشبان للتعبير عن آرائهم الانتفاعية والاجتماعية والجمالية متحررين من المشاكل الواقعية من ناحية الإمكانات المادية والذوق السائد . وقد طالعنا التاريخ القريب بمشروعات لمهندسين فرنسيين في أواخر القرن الثامن عشر مثل مشروع لودوه (Ledoux) للمدينة المثالية الذي أصبح منبعاً للنماذج المعماري الرومانتيكية الكلاسيكية ، وكذلك مشروعات بوليه الفراغية في نفس الفترة لمبان خيالية بمادة لم يحددها ونسب وأشكال أقرب ما يمكن لنسب وتكوينات الحرسانة المسلحة الحديثة . وهكذا وتحت هذه التقاليد قام جازنييه بتحقيق أحلامه على الورق في عديد من النماذج في تصميمه المدينة الصناعية لأهداف ثلاثة اجتماعية وعمرانية ومعمارية . وقد زود المشروع بعمومياته وتفصيلاته اللازمة من مساكن العمال إلى أنواع مختلفة من المصانع . وفيه عالج جازنييه بالتفاصيل مختلف المشروعات المعمارية المطلوبة بحلول بسيطة ومباشرة . وقد وصل بأشكاله إلى الأساس الذي بنت عليه أجيال المعماريين اللاحقة تطوراتهم . وقد ظهر في هذا المشروع المبكر (١٩٠١ - ١٩٠٤) تشكيلات معمارية على مرحلة بعيدة من التطور الإنشائي والجمالي بالحرسانة المسلحة وخاصة في مبانيه الانتفاعية . فتصميمه لمحطة السكة الحديد بالمدينة (شكل ٥٩) أظهر بعد نظر في الاتجاه المعماري اللاحق ، فقد استعمل بلاطات رشيقة كأبولية على أعمدة رفيعة للغاية في وقت لم تكن مثل هذه الأعمدة قد ظهرت في المجال الإنشائي* كما استعمل في أبسط وأنى التكوينات الأعمدة الخرسانية والقواطع الزجاجية في الصالة الرئيسية للمحطة المذكورة . كما استعمل في تصميمه للقناطر في المدينة حوائط سائدة هائلة مزدوجة الانحناء مناسبة إلى أسفل لتلتحم بالقاع الصخري للنهر (شكل ٦٠) . ومن الممكن أن يكون تعيين جازنييه كمعماري لمدينة ليون بين عامي ١٩٠٥ و ١٩١٩ فرصة له

* طور هذه الأعمدة المهندسان ماريار في سويسرا وتيرنر في أمريكا عام ١٩١٠ (انظر الفصل الرابع) .

لكى يحقق أحلامه ومشروعاته للمدينة الصناعية ، إلا أنه فى هذه المشروعات الواقعية لم يتجه إلى التشكيلات الرشيقة التى تقدم بها فى شبابه . فى مبنى الإستاد فى ليون المنتهى عام ١٩١٠ (شكل ٦١) استعمل مدخل تذكارية من عقود ضخمة وحوائط مستمرة من الخرسانة المكشوفة دون أى محاولة فيها لتقليد الأحجار بالدهان أو التقسيمات ، كما استعمل تشابيك زخرفية بسيطة ومؤثرة . هذه كانت لغة جازنيه لعمارة الخرسانة المسلحة ، وقد سار فى نفس هذا الاتجاه فى أعماله الأخرى بالمدينة : الاثنان وعشرون جناحاً فى مستشفى هيريوت (Herriot) فى جرانج - بلانش (Grange-Blanche) المصممة عام ١٩١١ والذي ابتداء تنفيذها عام ١٩١٥ ، ومدرسة الفنون ، ومصنع لبسترة اللبن ، ومبنى البورصة والمصحة الأمريكية الفرنسية . وجميعها تعبر عن وعى بخواص التماسك والبلاستيكية للخرسانة بنسب كلاسيكية بين الأجزاء الصماء والفتحات . أما مبنى « المذبح » فهو جرى لإنشائها قبيح فى شكله العام وليس فيه من الدراسات المعمارية ما فى مباني بيريه الصناعية .

دومينيكس بوم تطبيق آخر بالإنشاء الخرساني ظهر معاصراً لأعمال بيريه وجازنيه للمعماري الألماني بوم أستاذ قسم الفن الدينى بمدرسة الحرف بكولونيا (Cologne Crafts School) ، وقد استعملها كمادة بلاستيكية بإمكانيات التشكيل المستمر حيث تكون الحوائط والأسقف وحدة مادية وهندسية واحدة على شكل القطاع المكافئ . هذا القطاع كان مناسباً كتعبير رهزى وبصرى عن بلاستيكية الخرسانة المسلحة ، وذلك فى تصميمين له لكنيستين ألمانيتين ، أولاهما الكنيسة الكاثوليكية فى بيشوفشايم (Bishofsheim) عام ١٩٢٦ (شكلى ٦٢ ، ٦٣) وكنيسة ذكرى الحرب فى نيوالم (Neu-Ulm) (شكلى ٦٤ ، ٦٥) . وفى الكنيسة الأخيرة استخدم بوم الطريقة المعروفة باسمه * للشدات الدائمة التى ساعدته على الوصول إلى أشكاله المعقدة * . وبذلك تلافى قيود الشدات الخشبية التى فرضها بيريه على الإنشاء الخرساني . وبينما يفرض اتجاه بيريه هياكل متعامدة ثابتة فتحت طريقة بوم للشدات الدائمة المجال للتشكيلات البلاستيكية ذات التعبير الهندسى والتأثير المعماري الدراماتيكي * * . وقد نتج هذا التأثير عن الظل والنور الإيقاعى فى المستويات المتقاطعة . وقد استعمل الحائط الخارجى المسنن كما

* انظر الفصل الثالث لتفاصيل أكثر لهذه الطريقة .

* * فى المؤتمر الدولى السابع للمعماريين المنعقد فى لندن عام ١٩٠٦ شرح بروفيسور ويليامز (Wielemans) طريقة استعمالها فى النمسا فى السنين العشر السابقة لبناء الأسقف والعقود المقسمة Coffered باستعمال وحدات حافزة لشدات دائمة ٢٢ .
* * * يجدر بنا أن نلفت النظر هنا إلى الصلة القوية بين طريقة بوم وطريقة نيرثى للإنشاء بالشدات الدائمة وإلى النتائج المتشابهة لكل .

نفذ حوائط المعبد الدائري الملحق بالكنيسة مسننة وملتوية على درجة عالية من البلاستيكية .

ومما هو جدير بالملاحظة أن بوم الذي بلغت دواخله بالخرسانة درجة عالية من الصراحة والتعبير كسا واجهات كنيسة بالطوب كما هو شائع في عمارة الخرسانة بشمال أوروبا في ذلك الوقت .

الاتجاهات المعمارية بالخرسانة المسلحة في العشرينيات

مع أن هدف هؤلاء المعماريين السابقين كان واحداً ، فإن النتائج كما عرضناها مختلفة ، ولم تكن هذه النتائج هي كل ما ظهر في الأحقاب الأولى من القرن العشرين ، غير أنها تعتبر أساسية بالنسبة للمعالجات الأولى للمادة ، وبالنسبة لتأثيرها في اللغة المعمارية الحديثة للخرسانة المسلحة . ومعاصر هذه التشكيلات الأساسية استمر استعمال المادة كمنفذ لاتجاهات الإحياءات والاقتباسات التي استمرت إلى وقت قريب في أمريكا وأوروبا . فن مباني الباروك في اتلانتك سيتي بأمريكا إلى طرز إسبانية في فلوريدا وهندية في البكر (Albuquerque) بنيومكسيكو وإسلامية في لوس أنجليس وسان جوان ببيورتوريكو ، ومن كنائس بيزنطية في سان فرنسيسكو إلى رومانسكية في لوس أنجليس . ونظرة على كتاب أندردونك (Onderdonk) ^(٢٣) عن طراز الخرسانة المسلحة الصادر بأمريكا عام ١٩٢٨ توضح مدى انتشار هذه الإحياءات بالخرسانة في الربع الأول من القرن العشرين ، ومدى اهتمام معماري وكتاب هذه الفترة بالطرق المختلفة لإنهاء الأسطح الخرسانية المكشوفة . وقد شغل بحث هذه الطرق التي شملت إظهار تأثير الشدات وكشف الركام وتلوين الخرسانة بالركام الملون والأسمنتات والدهان والرش والتكسيات المختلفة والتشابيك والتماثيل الخرسانية أكثر من نصف الكتاب المذكور* مما يدل على الأهمية التي أعطيت للأسطح في هذه الفترة من التطور . في حين أن معالجة أندردونك للشكل المعماري بالخرسانة المسلحة عن طريق العقد المكافئ شغلت فصلاً واحداً من الكتاب . وقد احتلت أعمال فرانك لويد رايت بالخرسانة في أمريكا وخاصة في معبد يونتي (Unity) في أولك بارك عام ١٩٠٦ (شكل ٦٦) وفي حدائق المدويي (Midway) بشيكاغو سنة ١٩١٤ (شكل ٤١) ، واستعملاته العديدة للبلوكات الخرسانية الزخرفية في المنازل العديدة التي بناها هو وأولاده في أمريكا مكاناً بارزاً في التحليل .

ومع ظهور التحليل الثاني من المعماريين المعاصرين ظهرت اتجاهات معمارية جديدة — منها التعبيرية التي نظرت إلى الخرسانة كمادة مناسبة للتشكيل في أشكال انسيابية (Fluid) في كتل مستمرة متحررة من الخطوط التقليدية الرأسية والأفقية . وقد انتشر هذا الاتجاه في ألمانيا في العشرينيات في أعمال مندلسون

* الدعاية الأمريكية للأسمنتات والخرسانة ما زالت تستعمل هذه الإمكانيات الواسعة للخرسانة كيزة لها في دعايتها للمادة .

في برج أينشتين سنة ١٩٢٠ (شكل ٥٤٩) ووالتر جروبيوس في النصب التذكري للحرب في وايمار عام ١٩٢١ ورودلف ستينر (R. Steiner) في مبنى جويتيانم (Goetheanum) في دورناخ (Dornach)* بجوار مدينة بازل Basel بسويسرا عام ١٩٢٣ (شكل ٦٧). ويحوى المبنى الأخير المركز الرئيسى للجمعية فلسفية معروفة باسم (Anthroposophical Society) ومدرسة العلوم الروحية التى تتبعها. وقد اشتق اسم المبنى من اسم الشاعر الألماني جويته الذى تعتبر فلسفته أساس فلسفة مؤسس وراعى الجمعية رودلف ستينر. وستينر ليس بمعماري ولا ذى خبرة أو تجربة مهنية. وهو يعتبر الأشكال المعمارية كائنات عضوية تتعرض لما تتعرض إليه الحياة النباتية والحيوانية، وهدفه المعماري كان "إضافة الحياة إلى الأشكال" وتكوين توافق وتكامل بين الركائز والأسقف وتوازن بين الأشكال المقعرة والمحدبة. وقد نفذ أول مقر للجمعية بالخشب عام ١٩١٣، ولكنه احترق عام ١٩٢٢. وقد كانت الخرسانة المسلحة المادة المختارة للمبنى الثانى ليس فقط لما تتمتاز به من مقاومة للحريق، بل بالأخص لمميزاتها البلاستيكية. وقد نفذ ستينر مبناه بالخرسانة بالاستعانة بنموذج دراسى بالطين، وذلك للاستفادة به فى إنشاء الشدات الخشبية اللازمة. ومن الطبيعى أن ينظر أصحاب اتجاهات الشكلية التكعيبية (Cubism) فى فرنسا والتجريدية (De stijl) فى هولندا وألمانيا وروسيا من أوائل القرن العشرين إلى ما قبل الحرب العالمية الثانية إلى الخرسانة المكشوفة كسطح غير مستو غير نقى معرض لسوء الصنعة والأركان المعيبة بألوان غير صريحة ولا محددة. ومن ثم فقد اتجهوا إلى استعمالها كهيكل تكعيبية مع حوائط من الطوب مكسوة بالبياض، ومكونة لأشكال تكعيبية ذات مستويات محددة صريحة. ومن هؤلاء لوكوربوزيه الذى استعملها فى مساقط حرة وبتكوينات تكعيبية مبسطة فى مشروعاته السكنية الأولى. وقد عبر عن الإنشاء الخرسانى الهيكلى فى أغلب مبانيه بكشف أعمدته بالأدوار الأرضية وبالأسطح فى بعض الأحوال. وقد قدم لوكوربوزيه مشروعاً للإنشاء الهيكلى الخرسانى فى عام ١٩١٤ فيما سماه طريقة دوم - اينو (Dom-Ino System) (شكل ٦٩). كما نفذ المهندس أدولف لوس فى فيينا عام ١٩١٠ ما يحتمل أن يكون أول منزل حديث لرواد هذا الاتجاه التكعيبى بالهيكل الخرسانى المكسو بالبياض والحالى تماماً من الزخارف، وهو منزل ستانير الشهير. وقد وضع لوس فيه الخطوط الرئيسية لاتجاه الطراز الدولى بالخرسانة والطوب والبياض (شكل ٧٠).

* عاد الاهتمام بهذا المبنى فى الكتابات الحديثة - لما يحمله من شبه فى الاتجاه بصالة الاحتفالات ببرلين للمهندس شارون (Scharoun) وبكنيسة رانشان (Ronchamp) للمهندس لوكوربوزيه وهى التى لا تبعد كثيراً فى موقعها عن دورناخ (٢٤).

ومن الاتجاهات المعاصرة التي كان لها أكبر الأثر في رسم الصورة الكامنة لعمارة الخرسانة المسلحة والتي سنخصص لها الفصلين القادمين الاتجاهات التكنولوجية والإنشائية . هذه المحاولات الخلاقة تهدف إلى استغلال إمكانية الخرسانة المسلحة في خلق المستويات الفعالة ، وهي في واقعها اتجاهات نحو التبسيط والنقاء الإنشائي تزرعها منذ عام ١٩٠٥ الإنشائي الفنان روبرت مايار في سويسرا في « الكباري » والمنشآت ذات البلاطات الفعالة ، ومنذ عام ١٩١٠ في الأعمدة المشرومية . هذا التطور لم يستغل معمارياً إلى أقصى احتمالاته حتى اليوم ، اللهم إلا في بعض أعمال فرانك لويد رايت الحديثة . وقد تطورت إمكانيات البلاطة الخرسانية الفعالة وتحققت أغلب الأشكال الإنشائية المستعملة اليوم في العشرينيات والثلاثينيات . ومع ذلك استمرت الأعمال المعاصرة لبناء الهياكل العالية في استعمال التشكيلات المعمارية التقليدية من بلاطات إلى كمرات ثانوية إلى كمرات رئيسية إلى أعمدة في الإنشاء متعدد الأدوار . كما استعملت هياكل خطية (Linear) منحنية تحمل كمرات مستقيمة أو منحنية حاملة للبلاطات الخرسانية كما في الصالة المئوية (Centenary hall) المعاصرة لأعمال مايار في برسلاو (Breslau) عام ١٩١٢-١٩١٣ وهكذا أصبحت عمارة الخرسانة المسلحة في الربع الأول من القرن العشرين موضع تجارب كثيرة في اتجاهات متعددة ، وموضوع مناقشات في مؤتمرات دولية متخصصة كالمؤتمر الدولي السادس للمعماريين المنعقد في مدريد عام ١٩٠٤ ، والسابع المنعقد في لندن عام ١٩٠٦ ، والثامن في النمسا عام ١٩٠٨ . مثل هذه المؤتمرات أثارت الاهتمام المهني بالمادة وإمكاناتها . كما ظهرت في أوائل الربع الثاني من القرن العشرين ، وحوالي عام ١٩٢٨ مقالات عديدة وكتب عن الطراز المعماري للخرسانة المسلحة ساعدت على تقديم المادة للمهندسين والعامة الذين أصبحوا أكثر تقبلاً لها ولأشكالها* . ومع أن مرحلة الاقتباس كانت في نهايتها إلا أن الجحوى المهني والذوق العام لم يخل من معارك فرعية هنا وهناك . الطريق أصبح مفتوحاً نحو الاعتراف المهني بالإمكانات المعمارية للمادة ، كما أصبحت طرق التشكيل والتكوين المبنية على أساس إنشائي سليم متاحة للمعماريين الشبان لاكتشافها معززة بتقدم كبير في المادة وطرق الإنشاء والحسابات .

اليوم ننظر "للتكنولوجيا كامتداد للحضارة لا كعائق لها ، والمعماريون والمهندسون مشغولون بمحاولة إيجاد استعمالات وتعبيرات جمالية جديدة للاكتشافات التي غيرت المجتمع . كما أصبح التعبير الصادق أحد المبادئ الأساسية لقواعد الجمال المعاصرة" (٢٥) .

« انظر قائمة المراجع في آخر الكتاب للاطلاع على الكتب والمقالات الصادرة في هذه الفترة .



النتقدم في المواد وطرق الإنشاء

الخرسانة المسلحة مادة ذات مكونات متعددة ، بالإضافة إلى عوامل هامة تدخل في طريقة إنشائها مما تؤثر بدورها في شكل المنتج المعماري . وبما لا شك فيه أن التطورات والتحسينات التي أدخلت على مواد الخرسانة وعلى طرق إنشائها قد أثرت في عملية التصميم المعماري لمنشآت الخرسانة المسلحة . ومن وجهة النظر هذه سنحاول في هذا الفصل أن نحلل التقدم الذي طرأ على المواد وطرق الإنشاء في السنين الأخيرة .

المواد : اتجهت التحسينات بصفة عامة نحو الاقتصاد والكفاية في المنشأ الخرساني — وذلك لسد احتياجات معمارية مختلفة عن طريق الوصول بالخرسانة والتسليح إلى أعلى درجة من القوة كوحدة متماسكة تحت كل ظروف الطقس المتوقعة . وقد كان التقدم في هذا الاتجاه كبيراً في أغلب نواحيه .

الركام تعتمد قوة الخرسانة إلى حد بعيد على نوع الركام المستعمل . ولذا فإن اختيار ركام يتوافر فيه التجانس والصلابة والقوة والاحتمال هو من أهم مستلزمات الخرسانة القوية . مثل هذه الخرسانة تكون ثقيلة الوزن تتراوح كثافتها من ٢,٣ إلى ٢,٥ طن/م^٣ ، وهي موصلة للحرارة والصوت . ومع أن قوة الخرسانة مطلوبة في أحوال كثيرة ، إلا أنه في أحوال أخرى تتطلب الاحتياجات خرسانة خفيفة الوزن ، وبخاصة في المباني العالية والحوائط العازلة للحرارة والصوت . وهنا تبرز أهمية استعمال أنواع خفيفة الوزن من الركام وهذه قد تكون طبيعية أو صناعية . ومن احتمالات الركام الطبيعية الأحجار البركانية بأنواعها المختلفة التي تستعمل بعد تكسيدها بأحجام متباينة منها أحجار الخفاف (Pumice)* التي استعملها الرومان في مبانيهم وأحجار السكوريا (Scoria) التي تزن ١٠٥ إلى ١٠٠ طن/م^٣ . والركام الصناعي قد يكون من البقايا الصناعية (By-products) كبقايا احتراق الفحم تحت درجات حرارة عالية حيث تكون البقايا صلبة خالية من الكبريت وأوكسيد الحديد والمواد القابلة للاشتعال . هذه البقايا تزن من ٨ إلى ١٠,٢ طن/م^٣ ، وهي تتمدد بمعالجتها بكميات محدودة من المياه . كما ينتج الركام الصناعي نتيجة لتعريض المواد الخام للحرارة بطرق خاصة . والركام الطيني أو الطيني الصفحي (Shale) المتمدد المستعمل في أمريكا يزن بين ٧ إلى ١٠,٢ طن/م^٣ ويصنع بتسخين الحجر الطيني الصفحي أو الطين إلى حالة الانصهار والتكسير . كما ينتج أنواع من الركام الشديد

* استعملت هذه الأحجار في خرسانة قصر سڤيروس (Severus) الروماني، وما زالت تستعمل في اليابان ، حيث بلغ استهلاك حجار البوميس في الخرسانة لعام ١٩٦٠ ٧ ملايين متر مكعب .

الخفة من تسخين بعض أنواع الزجاج البركاني (volcanic glasses) الذى يتمدد بالحرارة ويكون ركائماً على درجة عالية من المسامية والخفة ويزن من ١ ر إلى ٢ ر طن/م^٣ ويسمى البرليت (Perlite) ، وهناك نوع آخر بنفس الوزن يسمى الزونوليت (Zonolite) وينتج عن تسخين معدن من مجموعة المايكا لتوان قليلة تحت درجة ١٨٠٠ ف°. ويمتاز البرليت والزونوليت بخفة وزنهما وخاصيتهما فى العزل^(١). مثل هذه المواد تكون مفيدة للغاية فى البلاطات الخرسانية السابقة الصب .

وقد تستعمل مواد أخرى كركام خفيف الوزن ، ومنها نشارة الخشب ، التى يغلب استعمالها لرخصتها . وخرسانة نشارة الخشب خفيفة الوزن وعازلة للحرارة ولينة وسهلة القطع بعد الجفاف ، كما أنها تقبل المسامير والقلاووظ . ومن المستحسن أن تترك النشارة للجفاف لمدة سنة قبل الاستعمال بحيث تتم الخلطة الجافة للنشارة والأسمنت قبل إضافة المياه . وقد جربت نسبة ١ : ٣ بالحجم من الأسمنت والنشارة على التوالى مع إضافة الماء بقدر يكفى للخلط ، ووصلت قوة الخرسانة الناتجة إلى ١٤ كجم/سم^٢ بعد ٢٨ يوماً . وقد يضاف الرمل إذا كانت الحاجة إلى خرسانة أقوى فى الاحتكاك .

وهناك اتجاه هام نحو تخفيف وزن الخرسانة عن طريق الخرسانة الغازية (gas concrete) وذلك بإنتاجها بخلايا مسامية « غازية » وهذه صنعت لأول مرة فى السويد سنة ١٩٢٩ . ومنذ ذلك الوقت تمت تطورات هامة فى طرق صنعها وطرق استعمال المادة ، وفيها يخلط الجير والسليكا ويتم طحنهما معاً لدرجة عالية من النعومة . ومادة السليكا هنا تتنوع تنوعاً متبايناً ، فمن الممكن استعمال الخبث الناتج من أفران الحديد العالية (Blast Furnace slag, shale ash) أو البوتزولانات الطبيعية أو البوميس إلخ . والمزيج من ٣٠ ٪ جير ، ٧٠ ٪ سليكا بعد طحنه يمزج جيداً بالماء ليكون عجينة ، ويضاف إليه مسحوق الألومنيوم الناعم ، ويتم بذلك تفاعل كيمائى ينتج عنه مادة مسامية من فقاعات صغيرة من الهيدروجين محاطة بهيدرو سليكيت الكالسيوم . وهناك طريقة تستعمل أساساً فى ألمانيا ، وهى تستخدم بروكسيد الهيدروجين كعامل رغوى (foaming agent) . ودرجة المسامية فى الخرسانة الغازية ، وبالتالى كثافتها تتوقف على كمية مسحوق الألومنيوم أو أى مواد وسيطة أخرى . ويساعد على سرعة الشك وجود الوحدات الخرسانية فى أفران لمدة ١٥ إلى ٢٠ ساعة، وعند خروجها من الأفران يمكن نشرها بالأحجام والأطوال المطلوبة^(٢) .

وتستعمل الخرسانة الغازية فى عزل الخنادق المحتوية على مواسير المياه الساخنة فى المدن ، وكطبقة

عازلة فوق الأسقف الخرسانية . كما تستعمل كبانوهات حوائط سابقة الصب : وفي هذه الحالة تدمج فيها الوصلات الكهربائية ومواسير المياه الباردة والساخنة ومواسير الصرف . كذلك تحتوى على الفتحات اللازمة من نوافذ وأبواب . ويتم تسليحها بواسطة شبكة من الصلب تدفن في الخلطة . ولاحتواء مثل هذه الخرسانة على فقاعات كثيرة من الهواء فإنه يلزم الاحتياط ضد صدأ حديد التسليح ، وذلك إما بمعالجته بالفوسفات وإما بمحلول ديكروميث البوتاسيوم المتبوع بالتغطيس في محلول بتوميني .

وقد تستعمل الخرسانة الغازية في الحوائط عن طريق بنائها ببلوكات بأحجام كبيرة تبنى في مداميك أفقية أو بصبها على شكل بانوهات مزدوجة رأسية بارتفاع الدور . وهذه تتكون عادة للحوائط الخارجية من ٥ سم خرسانة غازية و ٥ سم طبقة بولاسترين متمدد و ٥ سم خرسانة غازية . هذه البانوهات العازلة تستعمل في الحوائط الحاملة للمنازل الصغيرة وفي الحوائط غير الحاملة في العمارات العالية . كما تصب من الخرسانة الغازية بلاطات للأسقف ، وهي عادة بمقاسات وبطول يساوى بحر الحجرة ومسلحة بأسياخ من الصلب في وسطها . وهذه ترص الواحدة تلو الأخرى ، وعادة تنفذ عروضاها العليا أقل من السفلى وتملأ الفراغات الناتجة في سطح السقف العلوى بواسطة خليط أسمنتي ، وذلك للصق البلاطات .

الاسمنتات نتيجة للبحوث القصيرة والطويلة الأمد التي قام بها الإخصائيون تقدمت صناعة وخواص الأسمنتات تقدماً هائلاً في اتجاهات مختلفة مما نتج عنه زيادة قوة وتحمل الخرسانات تحت الظروف المتباينة . وترجع أسباب الزيادة الأخيرة في قوة الأسمنتات إلى زيادة في درجة النعومة التي تصل إليها الأسمنتات الحديثة عند مقارنتها بأسمنتات ثلاثين أو خمسين سنة مضت* . وقد زادت تبعاً لذلك أهم خاصية للخرسانة وهي قوتها في الضغط نتيجة لازيادة في قوة الضغط للأسمنتات المنتجة في السنين

* أعطت تجربة طويلة الأمد في الولايات المتحدة النتائج التالية لعينات خرسانية تحتوى تقريباً على نسب متساوية من الأسمنت (٤)

خرسانة مصنوعة في عام	جهة الانكسار في الضغط بالأرطال على مكعبات مقطوعها ١٦ بوصة مربعة بعد فترة				
	شهر واحد	سنة واحدة	٥ سنوات	١٠ سنوات	٣٠ سنة
١٩١٠	١,٩٢٠	٣,٤٤٠	٤,٢٥٠	٤,٠٥٠	٦,٢٥٠
١٩٢٣	٣,٠٠٥	٤,١٦٥	٦,٢١٥		
١٩٣٧	٥,١٤٥	٦,٧١٥	٧,٦٤٠		

الأخيرة . وفي الاتحاد السوفيتي زاد متوسط قوة الأسمنت من ٣٥٣ كجم/سم^٢ عام ١٩٥٠ إلى ٤٢٩ كجم/سم^٢ عام ١٩٦٠. هذا وقد وصل متوسط قوة الأسمنت البورتلاندى عام ١٩٦٠ إلى ٤٨٢ كجم/سم^٢ وقد تم إنتاج أسمنتات بقوة ٧٠٠ كجم/سم^٢ وابتدأت صناعة أسمنت بقوة ٨٠٠ كجم/سم^٢ (١٣). وبالإضافة إلى الأسمنت البورتلاندى العادى ، وهو المناسب فى الاستعمالات العادية ، أنتجت البحوث أنواعاً أخرى من الأسمنتات لكى تناسب أغراضاً خاصة للإنشاء .

ومن الخواص المطلوبة للأسمنت قصر مدة الشك النهائى للحرسانة فى الحالات التى يطلب فيها فك الشدات بسرعة أو استعمال الحرسانة المسلحة بأسرع وقت ممكن . وقد ظهرت للأسمنت الألومينى سريع التصلب (Rapid hardening) الذى أنتجه الكيماوى الفرنسى باقان دى لافورج (Pavin de Laforge) سنة ١٩١٣ مزايا عديدة خلال الحرب العالمية الأولى ، ولو أن استعمالاته التجارية لم تبدأ إلا سنة ١٩١٨ فى فرنسا وسنة ١٩٢٣ فى إنجلترا (١٥) . وسرعان ما أنتج الأسمنت البورتلاندى ذو القوة العالية المبكرة (High-early strength) كمنافس له فى عام ١٩٢٧ (١٦). وفى بعض الإنشاءات ذات الصبغة الخاصة تتطلب الظروف خفض معدل الحرارة المتولدة عن الشك كما فى حالات الكتل الحرسانية الضخمة فى السدود حيث يكون ارتفاع الحرارة ذا تأثير خطير فى المنشأ . وقد كان اكتشاف الأسمنت البورتلاندى المنخفض الحرارة (Low heat) ذا فائدة كبيرة فى إنشاء سد هوغر وغيره من السدود الضخمة بالولايات المتحدة .

ويعتبر الانكماش بعد الشك من الصفات السائدة لأنواع الأسمنتات السابقة والمسببة لظهور شقوق بها ، ولو أن هذه الخاصية تتغير بتغير معدل ازدياد القوة . فمقاومة الشدوخ ومعدل ازدياد قوة الأسمنت تناسبان عكسيًا . وقد أنتج المهندس الفرنسى هنرى لوسيه (Henri Lossier) نوعاً جديداً من الأسمنت يقوم بدراسته وتطويره لمواجهة مشكلة الانكماش (١٧) . هذا النوع من الأسمنت ينتفخ بانتظام أثناء تصلبه . وبالسيطرة على هذا الانتفاخ — إما من الخارج عن طريق حواجز ، وإما من الداخل بواسطة التسليح — يمكن أن يؤدى الانضغاط المتزايد لجزئيات الحرسانة إلى زيادة قوتها النهائية فى الضغط . وعند إنتاج هذا الأسمنت تجارياً ستكون له قيمة عملية عظيمة فى كثير من الإنشاءات . فبالإضافة إلى تأثيره فى التخلص من الشدوخ الناتجة عن الانكماش فإنه يحول الحرسانة تلقائياً إلى خرسانة سابقة الإجهاد . ولمقاومة المؤثرات الخارجية فى الحرسانة أنتجت صناعة الأسمنت أنواعاً تناسب خواصها مع الظروف المختلفة . فلمقاومة التآكل الناتج بفعل المياه الأرضية فى التربة الكبريتية يمكن استعمال الأسمنت البورتلاندى

المضاد للكبريت (Sulfate-resistant Portland cement) ، ولقاومة تأثير الصقيع على الخرسانة تم إنتاج نوع هام من الأسمنت البورتلاندى ذى الهواء المحبوس (Air-entraining Portland Cement) . ومن المعروف أن جميع الخرسانات المستعمل فيها الأسمنت البورتلاندى العادى تحتوى على نسبة من الهواء المحبوس تتراوح عادة من ١,٥ إلى ٢ فى المائة . هذا النوع من الهواء يوجد على هيئة فقاعات كبيرة نسبياً وموزعة توزيعاً غير متجانس ، وليس لها تأثير فى تحمل الخرسانة . أما الهواء المحبوس المتعمد فهو يكون من ٣ إلى ٦ فى المائة من حجم الخرسانة ، ويتكون من ملايين الكرات الدقيقة المتجانسة التوزيع . هذا الهواء يرفع من مقاومة الخرسانة للتجمد والتقشير وبخاصة فى أسطح الأرصفة حيث تستعمل الأملاح الخاصة بذوبان الثلوج . ومن الطبيعى توقع انخفاض فى القوة فى هذا النوع من الخرسانات ، وهذه يمكن تعويضها بتعديلات فى نسب الخلطات مع استغلال إمكانية لإنقاص نسبة الرمل والماء . هذا النوع الخاص من الأسمنت البورتلاندى تضاف إليه أثناء صناعته كمية صغيرة من مادة مكونة للهواء المحبوس (Air-entraining agent) ، وهذه تكون عادة مادة فوارة* . كما يمكن استعمال أسمنت بورتلاندى عادى مع إضافة المادة المكونة للهواء على الخلطة ، وكل طريقة لها مزاياها وعيوبها . ويعتبر النجاح فى إنتاج خرسانة مقاومة للصقيع بطريقة اقتصادية عاملاً هاماً فى إمكانية استعمالها عارية فى الأماكن التى يعتبر الصقيع فيها من الموانع الرئيسية ، وهذا بدوره سيكون له تأثير فى عمارة الخرسانة المسلحة فى تلك المناطق .

صلب التسليح لتأمين قيام الخرسانة المسلحة بوظيفتها على الوجه الأكمل يلزم التأكد من تماسك الصلب والخرسانة فى جميع ظروف التحميل الممكنة . ومحاولات زيادة هذا التماسك قديمة قدم طريقة رانسوم (Ransome) . هذا وقد أنتجت صناعة الصلب الحديثة أنواعاً من أسياخ التسليح ذات مسطح خارجى أكبر بالنسبة لأوزانها ، ومن ثم ذات تماسك أكبر مع الخرسانة المحيطة . وقد تمت بعض اختبارات فى الولايات المتحدة على ثمانية أنواع من أسياخ التسليح . وقد تبين أن أقل شدوخ فى الخرسانة ناتجة عن الشد ظهرت على عينات خرسانة مسلحة بأسياخ تسليح لها أكبر مسطح خارجى^(٨) . وفى هذه الحالة يمكن زيادة حمل التشغيل مما ينتج عنه وفر فى كمية الصلب المستعمل . وقد أنتج نوع من الأسياخ ذات التنوعات فى السويد ذو مقاومة قصوى تزيد على ٦٧٥٠ كجم/سم^٢ وقد استعمل منذ عام ١٩٥٣ بجهود مسموحة تتراوح بين ٣٤٢٠ كجم/سم^٢ و ٣٧٢٠ كجم/سم^٢^(٩) .

* الأحماض الدهنية (Fat acids) والكحولات الثقيلة (Fatty alcohols) والرتنجات (resins) .

وأسيخ التسليح تصنع بالسحب الساخن لإنتاج أسيخ دائرية أو ذات نتوءات أو بالتشكيل على البارد . والسحب الساخن ينتج أسيخاً ذات نسبة كربون قليلة تتحكم في جهود التشغيل المسموح بها في حدود حد المرونة (Elastic Limit) . والتشكيل على البارد يتم بعد السحب على الساخن وذلك بتعريض الأسيخ لإجهاد شد على البارد أكبر من إجهاد حد المرونة ، وبوقف هذا الإجهاد يرجع السبخ إلى حالته محتفظاً ببعض الامتداد . وعند تحميله ثانية يرتفع حد المرونة الأول إلى نقطة قريبة من إجهاد الانكسار ، وبذلك يرتفع إجهاد التصميم تبعاً لذلك . ويتم التشكيل على البارد بالسحب الشديد (Hard drawing) بالنسبة للأسيخ الرفيعة أو بتضفير سيخين متماثلين بالنسبة للأقطار حتى $\frac{7}{8}$ بوصة أو بالتواء سيخ واحد مستدير أو مربع المقطع . وقد استعملت طريقة جديدة في سويسرا لإنتاج صلب ذي جهد شد عال ، وذلك عن طريق لي سيخ له نتوءان مستمران حلزونيان وبروزات متقطعة على جانب واحد . كما أمكن الحصول على أسيخ عالية جداً في الشد بواسطة الالتواء على البارد لأسيخ ذات نتوعين حلزونيين بارزين مستمرين ، ونتوءات بارزة على الجانبين^(١٠) . ونوع ثالث ذو قوة شد عالية جداً بالمعالجة الحرارية بالإضافة إلى السحب على البارد بعمل تحزيزات بالطبع أو السحب تعقبها عملية تقسية^(١١) . واستعمال مثل هذه الأسيخ العالية القوة يكون بكون فائدة في الخرسانة العادية ، إلا إذا توافر التماسك اللازم بين أسيخ التسليح وبين الخرسانة التي يلزم أن تكون ذات مقاومة عالية . واستعمال النوع الثالث الذي تصل قوة شده إلى ٢١٤٠٠ كجم/سم^٢ لا يكون اقتصادياً إلا في حالة الخرسانة السابقة الإجهاد^(١٢) . كما يعتبر استعمال أسيخ السحب الدائرية على الساخن غير اقتصادي إلا في حالة عدم توافر الأنواع الأخرى ، أو في حالة التسليح الثانوي . والأنواع الأكثر اقتصاداً هي أسيخ السحب الساخن ذات النتوءات ، وهذه تصل قوتها إلى ٦٠٠٠ كجم/سم^٢ وأسيخ التشكيل على البارد عموماً .

هذا وقد انتشر الاتجاه في أمريكا والاتحاد السوفيتي إلى سبق تجهيز مجموعات التسليح على هيئة شبكة (mat) لتسليح البلاطات والأسقف القشرية ، وعلى هيئة بلوكات (Blocks) لتسليح الكمرات والجملونات . وتوفر هذه الطريقة مجهودات كبيرة في تقطيع ورص وتكسيح الحديد على الموقع . وفي الاتحاد السوفيتي يتم ربط حديد التسليح عن طريق اللحام (spot-Contact) وهذه هي أكثر الطرق تقدماً حيث إنها تتم بمكنات اللحام ذات الكفاءة العالية ، وذلك بالضغط على السيخين المراد لحامهما ، وإرسال تيار كهربائي يسخن المادة إلى الحالة البلاستيكية ويوفر الضغط لحاماً متيناً . ويسبق تجهيز مجموعات التسليح

لا يحتاج العمل على الموقع إلا إلى عدد قليل من العمال . والشبكات السابقة التجهيز اللازمة لتسليح البلاطات يتم توريدها للموقع على هيئة لفات أو وحدات مسطحة . وفي اللفات ترص أسياخ التسليح الرئيسية موازية لطول اللفة ، والأسياخ الثانوية تكون عمودية وبأقصى قطر قدره ٥,٥ ملى ، وذلك لتسهيل عملية اللف . وفي الوحدات المسطحة يمكن أن يكون التسليح فعالاً في الاتجاهين وبأى قطر . أما البلوكات اللازمة للكميرات فهي تصنع على هيئة أسياخ رئيسية طولية ورأسية رابطة ، وهي تورد إما مسطحة لكل جانب من الكدرة ثم يتم استكمال اللحامات على الموقع ، وإما على هيئة صندوق ثلاثى الأبعاد (١٣) .

طرق الإنشاء - تصميم الخلطة

الغرض الأساسى من تصميم الخلطة هو الوصول بأقل التكاليف إلى خلطة سهلة التشغيل تعطى خرسانة ، ذات قوة معينة مانعة لتسرب المياه بجانب صفات أخرى . وبما أن الأسمنت هو أعلى مكونات الخرسانة فمن المفروض أن الخلطة الاقتصادية هي التى تستعمل أقل كمية ممكنة منه مع ضمان الوصول بالخرسانة للصفات المرغوبة . وقد أثبتت التجارب أن قوة ومناعة الخرسانة لتسرب المياه تتناسب طردياً مع كمية الأسمنت المستعملة ، كما أن هذه القوة والمناعة تتناسبان مع كثافة الخلطة ، ومع مدى لدونتها . والخلطات الجافة ولو أنها قوية فإنها تتعرض لاحتمالات وجود الفجوات في حالة عدم استعمال هزازات كهربية . كما أن زيادة نسبة الماء أكثر من الكمية اللازمة للدونة الخرسانة تسبب ضعفاً سريعاً في قوتها .

هذا يقودنا إلى أهم اكتشاف في مجال تصميم الخلطة تم عام ١٩١٨ وهو ما يعرف بنسبة الماء للأسمنت (Water-Cement ratio)

” في الخلطات اللدنة السهلة التشغيل المصنوعة من ركام صلب ترتبط قوة الخرسانة بالنسبة الصافية بين مياه الخلط والأسمنت وتحدد هذه النسبة (الصافية) بكمية المياه الباقية لتتحد مع الأسمنت عند ابتداء الشك “ (١٤) .

وقد كان من المعتاد حساب نسبة الماء إلى الأسمنت بالحجم ، ولو أن النسبة بالوزن أسهل عند تصميم الخلطات الخرسانية . وقد تبين فيما بعد أن نسبة الماء للأسمنت لها علاقة خطية مباشرة بنسبة حجم الأسمنت والفراغات إلى حجم الأسمنت ذاته ، ومن ثم يتضح أن هذا القانون يعبر بطريقة عكسية عن القاعدة القائلة : إن قوة الخرسانة تتوقف على نسبة الأسمنت إلى الفراغات الموجودة بين الركام . وميزة هذا القانون هو بساطته واستقلاله عن أى متغيرات أخرى . ويتوقف النجاح في

استعماله على الوصول إلى النسبة المناسبة للماء والأسمنت والتي تعطى القوة المطلوبة ، والوصول إلى التكوين المناسب للركام بأحجامه وأنواعه المختلفة الذى يعطى خرسانة سهلة التشغيل مع هذا الخليط من الماء ومع استعمال أقل كمية من الأسمنت . ومن المهم هنا التحكم فى مقادير المواد ، وبالذات الأسمنت والماء ، على الموقع .

عمليات الخلط

يجب أن تكون الخرسانة متجانسة فى جميع أجزائها ، شأنها فى ذلك شأن سائر المواد الإنشائية الأخرى ، ويجب تأمين هذا التجانس عن طريق الخلط الجيد ومراعاة الحرص عند نقل الخليط من مكان الخلط إلى الموقع النهائى للصب ، وكذلك فى عملية الصب نفسها .

وباستثناء بعض الدول فى أفريقيا وآسيا وأمريكا الجنوبية ، حلت الآلات محل الخلط اليدوى فى أغلب المشروعات الخرسانية الكبيرة منها والصغيرة ، وقد ثبت بعديد التجارب تفوق الخلط الميكانيكى على الخلط اليدوى فى الوصول لخرسانة أقوى . وقد ظهرت فى الولايات المتحدة وبعض بلدان أوروبا صناعة الخرسانة الجاهزة الخلط والتي من شأنها تلافى متاعب الخلط فى الموقع . ومنذ عام ١٩٥٣ والخرسانة الجاهزة الخلط تستهلك أكثر من ٢٥٪ من كمية الأسمنت المصنوعة بالولايات المتحدة . هذه النسبة تكفى لإنتاج أكثر من ٥٥ مليون متر مكعب من الخرسانة ، وذلك حسب تقرير سنوى للجمعية القومية للخرسانة الجاهزة الخلط^(١٥) . وتقوم بالخلط فى هذه الحالة هيئات متخصصة يحدد لها العميل مواصفات الخلطة المطلوبة . وفى هذه الحالة يمكن أن تتم عملية الخلط المركزى إما فى المصنع المختص ثم تنقل الخرسانة بسيارات نقل مجهزة بخلاطات ، وإما أن تتم عملية الخلط على الطريق إلى العملية أو بعد الوصول إليها . ومن صعوبات هذه العملية توقيت إتمام خلطات ذات كميات وخواص متفاوتة لتلائم المعدلات التى تتطلبها أعمال عديدة ، والتجانس بين خلطة وأخرى وبين أجزاء الخلطة الواحدة لعملية معينة^(١٦) .

وفى عملية الصب ذاتها يلزم ضمان تجانس الخرسانة وملئها جميع فراغات الشدات فى الحوائط والأعمدة والكمرات وغيرها من الوحدات . وقد ثبتت كفاية المجهزات الكهربائية الداخلية للوصول للنتيجة المطلوبة . والمجهزات الخارجية تصلح لتركيز الخرسانة على المستويات الأفقية كالبلاطات والأرضيات ، ومن الممكن باستعمال المجهزات الكهربائية الداخلية تحويل خرسانة ذات هابط صفى وعلى نصف قطر قدم من الهزاز إلى كتلة لدنة فى مدة ٢٠ إلى ٣٠ ثانية . واستعمال الهزاز يمكن من تقليل الهابط مع تقليل كمية الرمل المستعمل إلى حدود من ٢٨ - ٣٥٪ من وزن الركام كله^(١٧) .

يجب المحافظة على تجانس الخلطة الخرسانية أثناء نقلها من مكان الخلط إلى مستقرها النهائي ويجب التزام الحرص عند نقل الخرسانة بواسطة مواسير الجاذبية (Gravity chutes) أو القزانات (Hoppers) أو خطوط الأنابيب (Pipelines) أو سيور النقل (Conveyer Belts) حتى لا تنفصل جزيئات الزلط والرمل الكبيرة عن المونة . كما يجب مراعاة ذلك عند صب الخرسانة بواسطة العربات اليدوية أو مواسير الطرد أو الدلاء (Buckets) (١٨) .

وقد أدى اكتشاف تأثير نسبة الماء للأسمنت في قوة الخرسانة الناتجة إلى استعمال خلطات خرسانية تحتوي على كميات أقل من الماء . ويؤدي الإهمال في صب ومعاملة مثل هذه الخرسانة الجافة إلى تكون جيوب من الزلط والرمل وفجوات هوائية كبيرة غير متجانسة . وبالتقدم في استعمال المزازات الميكانيكية (Vibrators) تحسنت معالجة الخلطة بعد وضعها في الشدات وقلت احتمالات وجود مثل هذه العيوب . كما تهيئ طريقة التفريغ (Vacuum) بديلاً آخر للتحكم في نسبة المياه ، وذلك بتهيئة مسطحات امتصاص للماء الموجود بالخرسانة بعد صبها فعلاً بالشدات .

وفي الموقع يتعرض صب الخرسانة للعوامل الجوية ولا يخلو هذا من مخاطر في الأجواء الممطرة . وفي الطقس البارد يتأخر شك الأسمنت ، كما يفسد الصقيع الخرسانة الحديثة الصب . وهذا يتطلب تسخين ماء الخلط أو الركام أو إضافة مواد ككلوريد الكالسيوم للأسمنت البورتلاندي لإسراع عملية الشك . وقد تطورت طرق صب الخرسانة في الاتحاد السوفيتي ، مما ساعد على صب الخرسانة طوال أيام السنة . ففي درجة حرارة - ٣٥° م أمكن صب الخرسانة باستعمال لوحات تسخين كهربية . كما استعملت ملفات كهربية لتسخين الخرسانة المخلوطة أثناء نقلها من الخلطات إلى موقع العمل .

تعتبر إعداد الشدات مرحلة أساسية في مراحل الإنشاء بالخرسانة المسلحة (الأشكال من ٧١ إلى ٧٤) . ومن المعتاد أن يقام هيكل مؤقت تصب فوقه الخرسانة ، ثم تمضي فترة زمنية تكفي لتصلب الخرسانة تزال بعدها الشدة . وللمجهود والزمن والمواد المستهلكة في هذه العملية أهمية اقتصادية كبرى بالنسبة للإنشاء بالخرسانة المسلحة . ففي الولايات المتحدة مثلاً تبلغ نفقات الأيدي العاملة الحد الذي يرفع تكاليف أعمال الشدات لتتجاوز نصف تكاليف المنشأ بأكمله . ولذلك فإن الجهودات تتجه بإصرار نحو تقليل هذه التكاليف بقدر الإمكان . وقد تركت هذه العوامل الاقتصادية آثارها في الأشكال المعمارية الناتجة . مثل هذه الجهودات اتجهت نحو حل مشاكل الإنشاء الخرساني الاقتصادية كما

فتحت مجالات لتكوينات جديدة كانت من قبل صعبة أو مستحيلة البناء على الرغم من التكاليف المحدودة . وفي أغلب الأحوال وضعت الظروف الاقتصادية قيوداً وتطلبت تعديلات معينة في التصميم لتلائم الظروف الإنشائية الخاصة . ومن الطبيعي أن يعتمد اختيار الحل الإنشائي الأوفق على طبيعة التصميم والظروف الإنشائية الخاصة بكل حالة .

سبق التجهيز : يحقق تقسيم المبنى الخرساني المسلح إلى وحدات سابقة التجهيز تجميع في الموقع اقتصاداً كبيراً في عمل الشدات . كما أن من شأنه إدخال المزايا الاقتصادية للإنتاج المتكرر على نطاق واسع إلى البناء بالخرسانة المسلحة بما في ذلك من وفر في المواد والعمالة . فمما لا شك فيه أن سبق التجهيز يحقق وفراً هائلاً في مواد الشدات وعمالها . كما أنه يسهل الإنشاء بوحدات مفرغة صندوقية سواء للأعمدة أو الحوائط أو بوحدات رفيعة ذات ضلوع للبلاطات والحوائط . هذه الوحدات من شأنها تحقيق زيادة القدرة الإنشائية سواء في الإنشاء الهيكلي أو الصندوقي أو القشري مع الاقتصاد في كميات الخرسانة والحديد المستعملة وعمالها ، مع خفة في الأوزان الناتجة . ومن المحقق أن سبق التجهيز بجانب دوره في الإقلال من كميات الخرسانة المستعملة ، يؤدي إلى تحسين مستوى الإنتاج عن طريق التحكم بصورة أفضل في عمليات الخلط والهرز والرش بالمياه* . وتحويل الغالبية العظمى من العمالة إلى المصنع من شأنه أن يهيئ محيطاً أكثر تنظيماً بأجور أقل بصفة عامة** . ويعتبر توفير الوقت عن طريق إتمام عمليات سبق الصب داخل المصنع أو على الموقع عاملاً هاماً من الناحية الاقتصادية نظراً لإمكانية القيام بعدة عمليات في آن واحد أو على فترات متقاربة . فاختفاء الصلبيات المعقدة من موقع العمل من شأنه أن يسمح لسائر العمال بالبدء في تركيب معدات المبنى . وبينما يجري صب الأساسات يمكن صب الأسقف السابقة التجهيز، وكذلك تبدأ أعمال التركيبات الصحية والكهربائية والميكانيكية فور إقامة الهيكل الإنشائي . كما أن عوامل الطقس التي كانت تستدعي اتخاذ وقاية خاصة أو ربما تعطل عمليات الصب في الموقع لا يكون لها أدنى تأثير في إجراء الصب داخل المصنع . كذلك تتم معالجة الخرسانة بالبخار داخل المصنع مما يجعل تصلبها بصورة أسرع وأيسر مما لو تركت لتصلب في الجو العادي .

ومما لا شك فيه أن التطور المستقبلي في الإنشاء الخرساني سوف يتجه بها نحو سبق التجهيز إلى أن يصبح هو الطريقة المتغلبة ويصبح الصب على الموقع هو النادر . ومما سيدفع التطور نحو هذا الاتجاه

* صب الحوائط أفقياً من شأنه تحقيق مستوى أعلى من الجودة مع إنهاء أفضل للأسطح .

** انظر الجدول الوارد بالفصل الخامس عن مقارنة الأجور وساعات العمل بين عمال الموقع والمصنع .

الاحتياجات المعمارية الملحة والسريعة للوحدات السكنية والمباني الصناعية في مختلف بلاد العالم . وقد نجح الاتحاد السوفييتي ودول أوروبا الشرقية في مجابهة الأزمة السكنية بالتركيز على اتجاه سبق التجهيز لعناصر كبيرة من حوائط وأسقف وسلام لازمة لوحدات سكنية بلغ مجموع مسطحها في الاتحاد السوفييتي ٣ ملايين متر مسطح عام ١٩٦٠ ، و ٢٥ مليون متر مسطح في عام ١٩٦٥ . والاتحاد السوفييتي في هذا المجال يحتل المركز الأول في العالم (١٩) . والمصمم بالوحدات الجاهزة يهدف إلى استغلال الطريقة إلى أقصى حدودها بالنسبة لجميع أجزاء المبنى مع الإقلال من العمالة اللازمة على الموقع بقدر الإمكان . والدول المتقدمة ذات الإمكانيات الواسعة في التصنيع الآلي وفي النقل من سيارات وخطوط حديدية توجه اهتمامها إلى تطوير سبق التجهيز الخرساني في إنشاء الوحدات السكنية ذات البحور الصغيرة المتكررة أفقياً ورأسياً . وفي هذا الاتجاه استخدمت وحدات جاهزة كبيرة نتج عنها وفر في المواد والعمالة مع سرعة في التنفيذ .

وقد أحرز سبق التجهيز تقدماً في حل المشكلات الإسكانية في أوروبا الغربية والمرجحة أبعد في أوروبا الشرقية والاتحاد السوفييتي . كما أن محاولات سبق التجهيز قد حققت حلولاً لمشكلات التغطية الخرسانية للبحور الواسعة لمباني الصناعة والمواصلات والتجارة والعرض وغيرها . وسنعرض هنا للتجارب العالمية في هذا المجال الإنشائي الحيوي .

سبق التجهيز للبحور الصغيرة المتكررة الإنشاء الهيكلي

وهو يقوم على أساس تجميع أعمدة وكمرات جاهزة ، ثم تقفيل الفراغات بحوائط خارجية وداخلية غير حاملة . مزايا هذه الطريقة سرعة التنفيذ مع تخفيف الأحمال على الأساسات مع إمكانية استخدام سبق الإجهاد في الكمرات ذاتها وفي وصلها بعضها ببعض . وتستعمل هذه الطريقة في سبق التجهيز لهياكل المصانع وفي بعض المباني المتعددة الطبقات ، وهي الطريقة الغالبة في سبق التجهيز الأمريكي . وقد استعملت في اليابان ، وبلغت جملة ما بنى بها عام ١٩٦٢ مليون متر مسطح (٢٠) . مثل هذه الطريقة لم ينتشر استعمالها بسبب الشدوخ التي تنتج في الوصلات نتيجة لعدم تماسك الهيكل مع الحشوات وبسبب تعدد هذه الوصلات .

وفي إنجلترا ظهرت طريقة ج - ٨٠ (G-80) (شكلي ٧٥ ، ٧٦) . وفيها تستعمل أعمدة على مسافات مترين أو ثلاثة أمتار بارتفاع طابق كامل وبتسليح بارز عن رأس العمود . ويدخل الحديد البارز في فتحة بقاع عمود الدور العلوي ، وهذه الفتحة تملأ بخرسانة تصب على الموقع . والكمرة الجاهزة تحمل على الأعمدة من محور إلى آخر وتكون نهايتها تجويفاً يتخلله حديد الأعمدة ، ويصب هذا

التجوييف على الموقع ليربط الكمرات بالأعمدة . والكمرات الخارجية بها تجاوييف بجانبها الداخلى لتحميل بلاطات بعرض ثابت هو ٣ أقدام ، ٤ بوصات وبحور تتراوح بين ٦ أقدام و ٢٦ قدماً وثمانى بوصات ، وأسماك تتوقف على البحور وتتراوح بين ٤ بوصات و ١٠ بوصات . والبلاطات صندوقية بدون قاع ذات ثلاثة أضلاع طولية وضلعين عرضيين عند النهايتين . والحوائط الخارجية غير الحاملة تتم بحسب رغبة المعمارى . ومن أشهر استعمالات هذه الطريقة مبنى مكاتب شركة رولز رويز فى ديربى بإنجلترا حيث تم تجميع الهيكل والبلاطات لأربعة طوابق ، وكذلك تقفيل الحوائط الخارجية للدورين بين شهرى يونيو وأغسطس من عام ١٩٦١^(٢١) ومن الطرق الإنجليزية الأخرى طريقة انترجريد (Intergrid) وقد استعملت لمبان حتى ١٢ طابقاً . وهى تستعمل أعمدة مربعة ذات مقاسين ٦,٥ ، ٨ بوصات وذات بروزات مختلفة الحجم والشكل فى جوانبها لتثبيت القواطع الجانبية . والوصلات تتم عن طريق صب الخرسانة على هذه البروزات بين الأعمدة والقواطع وبين الأعمدة من طابق إلى آخر عن طريق فتحات فى الأعمدة العليا (أشكال ٧٧ إلى ٧٩) . والأسقف محمولة على شبكة الكمرات الخارجية والداخلية المصنوعة من خرسانة سابقة الصب والإجهاد . والكمرات الخارجية بعمق ١ قدم و ١,٥ بوصة والرئيسية بعمق ١ قدم، ٢,٥ بوصة، والثانوية على شكل حرف U بعمق ٦ بوصات . والبلاطات إما أن تصب على الموقع على شدات دائمة من ألواح الاسبستوس السيمنتى تعلق على ألواح خشبية مؤقتة مثبتة فى فتحات بالكمرات الرئيسية والثانوية، أو تنفذ من وحدات سابقة الصب وترص على سطح الكمرات الرئيسية والثانوية ، ثم تصب الخرسانة لتحيط بالتسليح البارز من أحرف كل وحدة . وقد استعملت هذه الطريقة فى عديد من المدارس ومباني المكاتب والمطاعم والمحال التجارية والمصانع بإنجلترا^(٢٢) . كما تشاركها فى الإنشاء الهيكلى بعض من طرق لينجسبان (Laingspan) وهى تستعمل كمرات على هيئة جمالونات^(٢٣) .

وفى فرنسا تستعمل طريقة بارتس (Barets)^(٢٤) وحدات هيكلية حاملة مكونة من مجموعة من باكية إلى أربع باكيات من أعمدة وكمرات (شكلى ٨٠ ، ٨١) والبائية ذات معدل ١٠ أقدام . هذه الوحدات من خرسانة مسلحة سابقة الإجهاد . ويبرز من أعلى الكمرات وجوانب الأعمدة كانات لتثبيت الحوائط الجانبية كما يمتد التسليح أعلى وأسفل كل عمود لضمان استمرار الحامل الرأسى . وتحمل هذه المجموعات وحدات بلاطات مجوفة ذات أضلاع ترص فوق المجموعات الحاملة بحيث تترك فراغات لكمرات رئيسية وثانوية رابطة تصب على الموقع حول الكانات البارزة من مجموعات الهياكل الحاملة .

وطريقة ستراكتورايد (Structurapid) الإيطالية تستعمل وحدات جاهزة من أعمدة وكمرات ترتبط ببعضها بوصلات عن طريق ألجنة وتجاويف. والأعمدة المستخدمة مجوفة بسمك محيط قدره بوصتان ، وهى إما دائرية بقطر خارجى ١٢ بوصة وإما مربعة بطول ضلع ١٢ بوصة أو ٩ بوصات . هذه الأعمدة ذات تجاويف بقممتها لاستقبال نهايات الكمرات . وهذه تجهز على شكل حرف T بارتفاع ١٠ أو ١٤ بوصة ، وضلعها الأفقى إما ١٨ أو ١٢ أو ١٤ بوصة ، ويبرز منه إلى أعلى كانات لإيصال الكمرات بالبلاطات الجاهزة التى تتركز على الأحرف الأفقية البارزة للكمات (شكلى ٨٢ ، ٨٣) . واحتمالات الارتفاع بهذا الإنشاء غير محدودة كما ، أثبتت التجارب العلمية إمكان إقامة هيكل إنشائى بمسطح ٤٧٠ متراً مسطحاً فى يوم واحد باستخدام عامل متخصص واحد وثلاثة عمال عاديين وسائق للونش (٢٥) .

الإنشاء بالحوائط الحاملة

الاتجاه الثانى والغالب فى الإنشاء بالوحدات الجاهزة للبحور الصغيرة المتكررة هو الإنشاء الصندوقى باستخدام بانوهات من حوائط وأسقف حاملة . وهناك حلول مختلفة فى هذا الاتجاه :

الحل الأول : وهو يستعمل الحوائط العرضية العمودية على الواجهة كحوائط إنشائية حاملة . أما الحوائط الخارجية للواجهة ، وهى حاملة لنفسها ، فهذه تترك لتصرفات المعمارى . والبلاطات فى هذه الحالة تحملها الحوائط العرضية ، وهى تتكون إما من بلاطات بطول وعرض الحجرات ، وإما من بانوهات طولية ذات ضلوع وذات معدل ثابت تكون فى مجموعها أسقف الحجرات . ومن هذه الطرق طريقة أولسن وسكارنى وسوند (Ohlsson & Skarne & Sundh) السويدية ، والبلاطات هنا على شكل بانوهات بالحجم الكامل للباكية . وعلى نفس المبدأ تتجه طريقة لارسون ونيلسن (Larson & Neilsen) فى الدنمارك (شكلى ٨٤ ، ٨٥) وطريقة بلمورا (Bollmorà) فى السويد وطريقة قام (Vam) ببولندا وطريقة اوجاتنكو (Lugatenko) بروسيا . وقد أمكن بهذه الطرق إنشاء عمارات من خمسة طوابق فى أقل من ثلاثين يوماً . وفى روسيا حددت المسافات بين الحوائط العمودية الحاملة بباكية ، أى بحوالى ٣ أمتار أو باكيتين بطول حوالى ٢ أمتار (شكلى ٨٦) . وفى الحالة الأخيرة تكون البلاطات من بانوهات مجوفة سابقة الإجهاد بطول ٦ أمتار تتركز على طرفيها ، وقد أنشئت كذلك وحدات سكنية حوائطها الحاملة على ٣,٢٠ أمتار ، ٦,٤٠ أمتار (٢٦) . ومن مميزات هذا الحل إمكان التصرف المعمارى الحرفى الواجهة الخارجية كستارة غير حاملة ، وهذه يمكن عملها من الخرسانة الخفيفة أو من الخرسانة ذات الخلايا حتى تكون عازلة للبرودة فى البلاد الشمالية .

وفي أوروبا الشرقية تطورت هذه الطريقة لتتخذ شكلاً جماعياً مخططاً . وقد تقدمت الطريقة في ألمانيا الشرقية لبناء وحدات سكنية موحدة متكررة . وتتكون كل وحدة إنتاج من مصنع خرساني وشريط حديدى للنقل من المصنع إلى الموقع . والموقع نفسه كامل بالخطوط الحديدية لنقل الوحدات وونش بارتفاع ٤٠ متراً للتجميع . والمنتجات تصنف من تسعة أنواع من الحوائط الخارجية من الخرسانة الخفيفة والمهيئة بالفتحات وجلسات الشبايك ومواسير الكهرباء والصرف والتدفئة ، والمهيئة خارجياً بمونة الأسمنت الملون أو السيراميك وداخلياً بالبياض ، ومن أحد عشر نوعاً من الحوائط الداخلية الحاملة المصنوعة من الخرسانة الثقيلة بسمك ٦ أو ٤ بوصات ، ذات أسطح ناعمة لا تحتاج إلى بياض ، ومن تسعة أنواع مختلفة من الأرضيات « والبسطات » من خرسانة مسلحة ثقيلة سمكها ٥،٥ بوصة .

والحل الثانى : يستخدم منشأ مكوناً من حوائط طولية وعرضية حاملة للأسقف ، ويكون كل بانو حجرة كاملة والحوائط الخارجية قد تكون مزدوجة من طبقتين بينهما فراغ أو طبقة عازلة ، أو من طبقتين الخارجية عازلة من خرسانة مسامية تتبعها طبقة خرسانة ثقيلة حاملة ، كما في طريقة ميشك (Mischek) ^(٢٧) المستعملة في النمسا وفي كثير من المدن الألمانية (شكل ٨٧، ٨٨) . وفي هذه الطريقة نهياً الحوائط — بخلاف الخرسانة — بطبقتين من الداخل والخارج من البياض بسمك ٣ بوصات . والحوائط الداخلية الحاملة تكون مصممة من الخرسانة المسلحة . وتترك بين البانوهات الرأسية فراغات تخترقها أسياخ حديدية من طابق لآخر وتملأ بالخرسانة المصبوبة على الموقع لوصلها بعضها ببعض . كما تمتد فوق الحوائط الخارجية كمرّة مسلحة أفقية مصبوبة على الموقع لوصل الحوائط والروابط الرأسية والأعمدة بعضها ببعض . والبلاطات غالباً ما تكون صندوقية بدون قاع وبأضلاع طولية وعرضية ، أو صندوقية كاملة تتركز على الطبقة الداخلية للحوائط الخارجية وعلى الحوائط الداخلية . ومن أشهر الطرق التي تسير على هذا النمط أو على تنوعات منه طريقة بسون وريما (Bison & Reema) في إنجلترا وكوفيه (Cauvet) (شكل ٨٩) ، وباريتز وكوانيه وكامو (Camus) وراكوبا (Tracoba) في فرنسا . ويشرح شكلاً (٩٠ ، ٩١) طريقة استيوت (Estiot) الفرنسية على اعتبار كونها نموذجاً لهذا الاتجاه في الإنشاء .

والحل الثالث يستخدم حوائط طولية حاملة وهى حوائط الواجهة وحوائط موازية لها . والبانوهات سابقة الصب بمقاس الحجرة من خرسانة خفيفة ، والأسقف مصنوعة من وحدات مجوفة سابقة الإجهاد تتركز على الحوائط الحاملة . مثل هذا الحل قد استعمل في الاتحاد السوفييتى (شكل ٩٢) .

والحل الرابع يجمع بين الإنشاء الهيكلي في الداخل والحوائط الحاملة الخارجية - وهو يستخدم كممرات عرضية ترتكز على الأعمدة الداخلية وعلى الحائط الخارجي . وقد ظهر هذا التكوين في روسيا بمسافة ٣ أمتار بين الكممرات العرضية . والحوائط الخارجية رفيعة ذات أعصاب ومعزولة بخرسانة مسامية . وحسب القوانين المحلية يمكن استعمال خرسانة خفيفة الوزن . والبلاطات تجمع من بلاطات سمك ٨ إلى ١٠ سم ترتكز على الكممرات العرضية . والأعمدة هنا توضع على المحور الداخلي الطولي للمبنى والقواطع الداخلية من خرسانة المصيص (شكل ٩٣) .

وهناك حل خامس بالحوائط الحاملة يتبع في روسيا وينتج عنه أخف أنواع المباني ، إذ أنها تزن حوالى ١٠٠٠ كجم للمتر المسطح من الفراغ المستعمل ، وهو يستخدم بانوهات رفيعة بطول الباكيات مقواة بأضلع على جوانبها . ويمكن الوصول إلى العزل الصوتي بين الحوائط الفاصلة الداخلية بتهيئة بلاطات وقواطع منفصلة . وبلاطات الأسقف ترتكز على حوائط عرضية يحيطها مقوى بأضلع خارجية . وبجانب مقاومتها لعزوم الانحناء تقوم القواطع بنقل الأحمال خلال الأضلع الرأسية في نهايتها إلى الأساسات (شكل ٩٤) .

لإنشاء الصندوق

الاتجاه الثالث في سبق التجهيز للباكيات الصغيرة المتكررة يتجه نحو صب مجموعات من حوائط وأسقف متماسكة في المصنع ونقلها كاماة بما يصاحبها من تشطيبات ومهمات جاهزة للتجميع . هذا الاتجاه يقلل الوصلات التي يجب إتمامها على الموقع رغم ما يتطلبه من وسائل رفع ونقل متقدمة . وتتفاوت الحلول المستعملة في هذا الاتجاه بتفاوت إمكانيات النقل والتجميع ، ففي طريقة ترسكون (Truscon) الإنجليزية مثلاً تصل إلى الموقع عشر قطع صندوقية جاهزة (شكل ٩٥ ، ٩٦) ذات حوائط خرسانة سمك ١ بوصة وضلوع كل ٢٠ سم بسمك إجمالي قدره $3\frac{3}{4}$ بوصة . والوحدات يربط بعضها بعضاً بواسطة ألواح وصل ومسامير قلاووظ مع ملء الفراغات بين الصفوف المتجاورة بخرسانة مسلحة مصبوبة على الموقع بسمك ٧.٥ بوصات تعمل كحائط عازل بين الشقق المختلفة . وقد دلت التجارب على أن إقامة منشأ مبنى من أربعة طوابق يحتوي على ١٦ وحدة سكنية يستغرق عشرة أيام كما يستغرق أربعة أسابيع لإنجازه كاملاً من مستوى الأساس إلى انتقال السكان إليه ، وذلك باستخدام ١٧ عاملاً (٢٨) .

وقد ذهبت التجارب الروسية إلى (حلول أبعد من ذلك وهي) التصنيع الكامل لوحدات صندوقية متماسكة لغرفة أو غرفتين متقابلتين . وقد انتشرت هذه الطريقة حيث إنها تمكن من سرعة الإنشاء ،

ولما يصاحبها من توفير في حديد التسليح والعمالة على الموقع . ومن عيوبها ثقل وزن الوحدات (١٣ طن) الذى يتطلب أوتاشاً كبيرة وأساسات ضخمة حيث يتحتم أن تكون حوائطها صلبة وعازلة للصوت بجانب كونها حاملة . هذه الطريقة تم في المصنع بتجميع بانوهات خرسانية ولحام الأسياخ البارزة وصب خرسانة اللحام ، وغالباً ما يترك الصب فجوات علاوة على صعوبة النقل والتصنيع .

وقد تطورت الطريقة لحل أبسط وهو استخدام وحدات من ثلاثة أجزاء فقط أوطا صندوق مقلوب لمصبوب قطعة واحدة للسقف والحوائط الجانبية والواجهات وجزأين للأرضيات من إنشاء مضلع خفيف . وسمك الحوائط الجانبية والسقف ١٩ بوصة (شكل ٩٧ ، ٩٨) . وسقف كل وحدة مزود بأربعة ضلوع طولية مهيأة بحيث ترتكز عليها بدقة ضلوع بلاطات الصندوق الأعلى . والوحدات هنا مكونة من ثلاث مجموعات فقط : مجموعة من حجرتين ومجموعة من حجرة وحمام ومطبخ ، ومجموعة من سلم وحمام ومطبخ ، والطابق عبارة عن ثلاث وحدات سكنية يحل محلها سلم واحد . وقد استنبطت طريقة أخرى للوصول إلى أوزان أخف بأقصى حمولة ٥ أطنان من وحدات صندوقية

من سقف وحوائط مستمرة متماسكة من لوحة واحدة من الأسبستوس السيمنتى ذات أركان مقوسة بنصف قطر قدم واحد وسقف منحني (شكل ٩٩ ، ١٠٠) . والسطح الداخلى للأسبستوس ناعم ولا يحتاج إلا إلى البويات . والقاعدة من الخرسانة المسلحة سمكها بوصتان ونصف بوصة وذات أضلاع على أطرافها سمك ١٠ بوصات ، ومتصل بها أربعة أعمدة ركنية سابقة الإجهاد . والحائط الخارجى مزدوج من طبقة خارجية من الخرسانة المسلحة وطبقة من العازل الحرارى فيبروليت (Fibrolite) ، وهى تصنع في المصنع وتلحم أسياخها بأسياخ الأعمدة الخارجية للصندوق . ويتم ربط الوحدات الصندوقية بعضها ببعض وذلك بصب خرسانة في الفراغ المتروك بين الأعمدة الركنية للوحدات المتجاورة وحول الأسياخ البارزة من كل عمود ركنى . وقد صممت الوحدات لتمتد إلى خمسة طوابق ، إلا أنه في الإمكان زيادة الارتفاع إلى ثمانية طوابق مع زيادة قطاع الأعمدة في الطوابق السفلى . وقد أمكن الانتهاء من تجميع مجموعتين سكنيتين بهما ١٣٦ وحدة سكنية كل أسبوعين . ومن الممكن لفرقة إنتاج واحدة تجميع حوالى ١٠٠,٠٠٠ متر مكعب من المساكن كل عام (٢٩) . مثل هذه الطرق ومشتقاتها حققت لروسيا بناء ٣ ملايين ونصف مليون وحدة سكنية في العام لحجابهة احتياجاتها السكنية المتصاعدة .

في تغطية البحور الكبيرة يتجه المصمم في أغلب الأحوال إلى استعمال الأسقف المنحنية ، سواء أكانت مفردة أم مزدوجة الانحناء ، إلا إذا اضطرته ظروف انتفاعية إلى استعمال الأسقف المستوية . وهو لتحقيق رغبته في سبق تجهيز مثل هذه الأسقف تقابله صعوبات تصميمية وإنشائية عامة بالنسبة لسبق التجهيز وخاصة بالنسبة لطبيعة البحور التي يريد تغطيتها . من هذه الصعوبات مشكلتان هامتان متداخلتان ومتناقضتان ، هما : مشكلة نقل وحدات إنشائية كبيرة وثقيلة ، ومشكلة وصل الوحدات في مجموعة متماسكة ذات بحور كبيرة . وعلى أساس الحلول التي نختارها لحل هاتين المشكلتين والإمكانيات المتاحة يتوقف الشكل النهائي للإنشاء .

ومشكلة النقل تتعلق بوزن الوحدات وأطولها والمسافة التي تقطعها هذه الوحدات من المصنع إلى الموقع . ومن الواضح أن العلاج المباشر لهذه المشكلة يتم في اتجاهين هامين : الأول بإنقاص الوزن بدون إنقاص لحجم الوحدة ، وذلك عن طريق وسائل سيتم شرحها فيما بعد . وهذا سيبقى مشكلات النقل لوحدات خفيفة بأبعاد طويلة خلال طرق حضرية وقروية . وقد يتم تصغير الوزن عن طريق تصغير الأبعاد ، وهذا من شأنه أن يوضح المشكلة الثانية ، وهي عمل الوصلات بين الوحدات . أما الاتجاه الثاني فهدفه إلغاء النقل كلية عن طريق سبق التجهيز على الموقع ، وتبقى مشكلات الرفع والتثبيت . ومن الطبيعي أن هذا الاتجاه يحل مشكلات النقل والمواصلات ، ولكنه يحرم سبق التجهيز من مميزات التصنيع والإشراف الآلي .

ونحو الاتجاه الأول لحل مشكلات النقل عن طريق إنقاص وزن الوحدة بدون إنقاص حجمها قد يجمع المصمم بين سبق التجهيز وسبق الإجهاد^(٣٠) . ومن أمثلة ذلك كمرات سابقة التجهيز يبلغ طولها ٢٦ متراً تم إنتاجها في السويد بوزن قدره ١٣ طناً ، وذلك باستعمال سبق الإجهاد^(٣١) .

وتصميم الكمرات ذات البحور الواسعة على هيئة جمالونات يعتبر حلاً لتخفيف وزن العناصر السابقة التجهيز . وصب الجمالونات الخرسانية يتم في المصنع ثم تحمل على سيارة نقل إلى الموقع حيث يتم تجميعها . وقد استخدمت في إنجلترا جمالونات ذات وصلات من طراز راسل (Russel Joint) وفيها تستعمل ألواح توصيل ومسامير قلاووظ كوسيلة لتجميع شتي وحدات الجمالون سابقة التجهيز^(٣٢) . كما استعمل المهندس الإيطالي بيير لويجي نيرفي (Pier Luigi Nervi) كمرات جمالونية تبلغ مقاساتها ٣ × ١ متر في أسقف ست حظائر للطائرات في إيطاليا ما بين سنة ١٩٤٠ و ١٩٤١ (شكلى ١٠٢، ١٠١) . وتتقابل كل أربعة جمالونات في نقطة واحدة حيث يتم لحام أسياخ تسليحها بالكهرباء

(شكل ١٠٣) . ويكون الهيكل بأكمله سقفاً محلباً من نوع اللامبلا (Lamella) . وفي أمثلة أخرى اجتمعت بميزات الإنشاء الجمالوني مع استعمال خرسانة سابقة الإجهاد لتحقيق المتانة وخفة الوزن . وقد استخدمت جمالونات سابقة التجهيز والإجهاد في بناء كلية هاتفيلد الفنية (Hatfield Technical College) بإنجلترا وفي مصنع شركة كولودنس (Golodense, Ltd) بمقاطعة بريستون بإنجلترا . كما استخدمت نفس الطريقة في ألمانيا خلال الحرب العالمية الثانية لإنتاج جمالونات سابقة التجهيز للمصانع بطول ٣٣,٥ متر (١٣٣) .

وفي الولايات المتحدة تم إنشاء سقف معمل البحوث الطبي بنسلفانيا بولاية فيلاديلفيا باستعمال كمثرات رئيسية وثانوية عبارة عن جمالون فيرنديل (Vierendeel) ذي بحر ١٥ متراً لتكسية وحدات معامل مربعة ضلعها بنفس طول الكمثرات الرئيسية (شكل ١٠٤) . والكمثرات الرئيسية ترتكز على أعمدة خارجية على هيئة حرف H وتحمل كمثرات ثانوية على هيئة جمالون . وقد سمح مثل هذا التكوين للكمثرات الرئيسية والفرعية بإمكانية المرور الأفقي لشبكة المواسير المعقدة . وقد ساعد على خفة وزن هذه الكمثرات الرئيسية استعمال الإجهاد السابق في إنشائها . كما استخدم الإجهاد اللاحق للكمثرات الفرعية ، ويعتبر هذا المبنى ذو الطوابق الثمانية من أعلى المباني الخرسانية السابقة التجهيز في أمريكا . ولضمان اتصال أعمدة كل طابق بالسقف والأعمدة التالية روعي امتداد أسياخ داخل فراغات فيها وداخل الكمثرات الخارجية والكمثرات الرئيسية إلى فراغات الأعمدة التالية ، وعرضت الأسياخ لقوة شد لاحق قدرها ٩٠ طنناً لربط الجميع في مجموعة واحدة (شكل ١٠٥) .

ونحو تصغير حجم الوحدات وبالتالي تصغير وزنها قسم نيرفي السقف الأسطواني للصالة الرئيسية (بحرها ١٠٠ متر) في مبنى معرض تورين عام ١٩٤٨ إلى وحدات صغيرة (طول الوحدة ٤,٥ م) (شكلي ١٠٦، ١٠٧) . وقد ساعد على تقوية الوحدة الشكل الخاص الذي نفذت به وهو شكل القطع المكافئ . وقد تمكن نيرفي من تنفيذها بالأسمنت المسلح (Ferro-Cemento) بسمك ٤ سم (شكل ١٠٨) . ولما ساعد على تخفيف وزن العناصر الإنشائية إلى درجة كبيرة مع الاحتفاظ بمتانتها (شكل ١٠٨) . واستعمال هذه المادة لا يتطلب إلا شدات خارجية تكرر استعمالها لصب الوحدات المنتجة (أشكال من ١٠٩ إلى ١١١) . وفي حالات أخرى استعمل نيرفي هذه الوحدات مع تغطيتها ببلاطات خرسانية رفيعة (شكل ١١٢) . وقد استغلت التجاويف في هذه البلاطات المنتجة التي تشبه القنوات كمثرات

للهواء الساخن في حمام سباحة الكلية البحرية بمدينة لجهون* عام ١٩٤٣ هـ

والاتجاه الثاني لحل مشكلات نقل الوحدات الجاهزة عن طريق سبق التجهيز على الموقع يزيد حرية المصمم في تشكيل وحداته الجاهزة ، وبالتالي في التصرف في الشكل العام للسقف مع إمكانية تكبير الوحدات المصنعة ، وما يتبع ذلك من قلة الوصلات . وقد تم في الولايات المتحدة عام ١٩٦٥ - سبق تجهيز سقف قشري دائري بقطر ٩٠ متراً لمسرح وجمنازيوم بجامعة فرجينيا مكون من ٢٥٦ قطعة قشرية مزدوجة الانحناء صبت على الموقع ورفعت لترتكز على أعصاب سابقة الصب على شكل قبة توازنها حلقة ضغط مركزية وشد محيطية لاحقة الإجهاد . وكل شريحة من القبة مكونة من ثمان قطع يتراوح بحرهما من ٤ أقدام عند المركز إلى ٢٧ قدماً و ١٠ بوصات عند المحيط (شكل ١١٣) .

وفي أوروبا اشتهر المهندس الفرنسي الشهير برنار لافاي (Bernard Lafaille) ، وهو من أوائل مستعملي سبق التجهيز ، باستغلال الصب على الموقع لوحدات جاهزة كبيرة الحجم خفيفة الوزن بسبب شكلها الخاص (V) . وقد استعملت هذه الوحدات التي وصلت أطوالها في بعض الأحوال إلى ١٥ متراً في بناء حوائط حظيرة طائرات في بانسيغو (Pancevo) بيوغوسلافيا عام ١٩٣٦ (شكل ١١٤) ، وفي كنيسة نوتردام دي رويان (Notre Dame de Royan) عام ١٩٥٤ - ١٩٥٨ مع المعمارى ج. جيليه (G. Gillet) . وقد استعمل الوحدة فيما بعد في عدة مبان وخاصة في محطات للسكك الحديدية .

ويسمح سبق التجهيز في موقع العمل بإنتاج وحدات أكبر حجماً ، وبالتالي وصلات أقل عدداً . ومع ذلك فإنه يخلق صعوبات عديدة عند رفع أو إمالة الوحدات ، الأمر الذي أصبح ميسوراً بالمعدات الحديثة . وفي ميدان العمارة يتزايد استعمال الكمرات والهيكل والحوائط والبلاطات المسطحة أو المنحنية التي يتم صبها على أرض الموقع ثم ترفع أو تقام في مكانها النهائي . وفي أغلب الحالات يمكن صب تلك الوحدات فوق بعضها باستعمال أقل مسطح من الشدات أو بدون شدات إطلاقاً . وقد أدت طريقة البلاطات المرفوعة (Youtz Slick Lift - Slab) التي استحدثت في الولايات المتحدة إلى إمكان صب عدة أسقف كاملة ذات بوائك عريضة إحداها فوق الأخرى ، ثم يرفع كل سقف منها دفعة واحدة إلى

* من منشآت نيرفى الأخرى التي قامت على هذا النظام مبنى معرض ميلانو عام ١٩٥٣ ، وجناح بيت الاستحمام لمدينة شيانسيانو (Ghianciano) إيطاليا سنة ٥٢ - ١٩٥٣ ومبنى الجمعية العمومية لهيئة اليونسكو بباريس عام ١٩٥٦ وقصور الرياضة الدائرية ببرما عام ١٩٦٠ ، وللرجوع إلى تفاصيل أكثر عن أعمال نيرفى انظر كتاب

P.L. Nervi, Structures, (New York, F.W. Dodge, 1956)

منسوبة النهائي في المبنى . وفي أمريكا تستعمل في أغلب الأحوال أعمدة حديدية ، وفي إنجلترا* استعملت أعمدة خرسانية بدلا من الحديدية ، وهذه إما أن تصب على الموقع وإما أن تتركب جاهزة . وتدمج في البلاطات عند صبها فلنشات (Collars) ، وهذه تستعمل كدليل للبلاطة أثناء ارتفاعها على الأعمدة كما تهيأ الفلنشات بإمكانة لتثبيت نهايات أحبال الرفع (شكلى ١١٥ ، ١١٦) . ويستعمل الشمع أو الراتنجات أو طبقة من البوليثين (Polythene) كأوساط عازلة بين البلاطات المصبوبة فوق بعضها وميزة طبقة البوليثين سرعة صب البلاطة تلو الأخرى ، إلا أنها تسبب تموجات صغيرة في أسفل البلاطات مما يتطلب بياضها . وتوضع الروافع على رؤوس الأعمدة ، وقد أصبح في الإمكان التشغيل الأوتوماتيكي لعدد ٤٠ رافعة بحيث تعمل كلها في توافق وبحيث ترتفع البلاطات أفقية تماماً . وفي حالة كبر حجم البلاطة يمكن تقسيمها إلى أجزاء لسهولة التحكم في الرفع . ومن الممكن رفع أحمال حتى ٢٥٠٠ طن باستعمال طريقة البلاطة المرفوعة . ومن المنتظر إمكان رفع البلاطات بمسطح حوالى ١٢٠٠ متر مسطح^١ باستعمال الأنواع المستحدثة من الروافع ، كما أنه في الإمكان تحميل الوصلة بين العمود والبلاطة إلى حدود ٦٥ طناً . ومن مميزات هذه الطريقة سهولة صب البلاطات الواحدة فوق الأخرى على مستوى الأرض دون حاجة إلى إقامة أوفك أو تنظيف شدات بحيث يتتابع الصب كل يومين وتثبت البلاطات في مواضعها النهائية بطريقة أدق مما لو صببت على موقعها . والعمل يتم على مستوى الأرض بطريقة آمنة ومستمرة حتى في المناطق الباردة حيث يمكن عزل الموقع كله حول البلاطات بغطاء تارباولين (Tarpaulin) . ومن الممكن وضع التشطيبات النهائية على البلاطة من مواد عازلة للصوت والحرارة ، وكذلك تثبيتوصلات الكهرباء والأدوات الصحية قبل رفعها إلى وضعها النهائي . كما أن عملية الرفع تتم في هدوء مما يخفف الضوضاء التي تصاحب عملية الإنشاء العادى . وقد ظهرت أول تطبيقات هذه الطريقة في الولايات المتحدة في مباني الإدارة وعنابر النوم ذات الطابقين بجامعة ترينيتى (Trinity) في سانت أنتونيو بولاية تكساس . وفي إنجلترا أنشأت الشركة صاحبة الترخيص ما يزيد على ١٠٠,٠٠٠ متر مسطح من المباني المتعددة الطوابق بين عامى ١٩٥٩ و ١٩٦٢ . ومن أهم مبانيها الجراج ذو الطبقات التسعة في لونج بريدج (Longbridge) ببرمنجهام ، وهو يسع ٣٣٠٠ سيارة ويقال إنه أكبر جراج من نوعه في العالم (٣٤) .

* أخذ ترخيص إنجليزى في برمنجهام عام ١٩٥٩ .

وقد تطور هذا النوع من الإنشاء فاستعملت الخرسانة الخفيفة * والبلاطات ذات الضالع (Waffle Slabs) ** وتم الجمع بين سبق الإجهاد والبلاطات ذات الضالع المتقاطعة *** ، والهدف من ذلك الوصول إلى بلاطة أخف وأقوى وأسهل في الرفع . ولم يعد رفع البلاطات مقصوراً على المباني المستطيلة ، فقد أمكن رفع صدف قشرية - وهي من أكبر أنواعها في العالم - على هيئة قبة بقطر حوالى ٨٥ متراً ، وذلك لسقف مسرح وارنر (٧٢٠٠ كرسي) في مدينة أندرسون (Anderson) بولاية إنديانا ومسطحها حوالى ٥٥٠٠ متر مربع . وقد صببت القبة على قالب من الطمي الممزوج بالزلط وبسطح علوى من الزلط والرمل . وقد رُمعت القبة على أربعين عموداً من الصلب من فلنشات حديدية مدفونة في الكمرة المحيطة . وقد وضع التسليح في هذه الكمرة داخل قمصان لتسهيل الإجهاد اللاحق لها . وتم الرفع بواسطة أربعين رافعاً طاقة كل منها ٣٥ طنّاً ، وهذه تعمل من لوحة توزيع واحدة . وقد تم الرفع في خمسة أيام . هذا ولم يعد رفع البلاطات مقصوراً على الأشكال المماثلة ، بل أمكن رفع سقف على شكل مروحة لمعبد إسحق (Isaiak Temple) بلوس أنجليس (شكلى ١١٧، ١١٨) . كما أصبح في الإمكان رفع بلاطات مائلة كما في جراج برمنجهام حيث كان ميل البلاطات ١ : ٣٦ .

وقد اتبعت طريقة أخرى باسم جاك بلوك (Jackblock) عام ١٩٦٢ لصب مبنى خرساني ذى ١٧ طابقاً بدون استعمال شدات وذلك في مدينة كوڤنترى (Coventry) بإنجلترا (شكلى ١١٩، ١٢٠) . وفي هذه الطريقة يصب سقف الدور العلوى الأخير على مستوى الأرض ثم يرفع وتثبت الحوائط الخارجية والداخلية وتنتهى أعمال التشطيبات للدور الأخير . ثم تصب أرضيته على مستوى الأرض ، ويرفع الطابق كاملاً إلى أعلى ليتم إنهاء الطابق قبل الأخير ، وهكذا . وعملية الرفع تتم بواسطة روافع تحت قلب إنشائي صندوقى يحتوى على الخدمات والمصاعد والسلام . والبلاطات تبرز من هذا القالب على الأربعة جوانب محملة على أربع كمزات خرسانية سابقة الإجهاد . وميزة هذه الطريقة بجانب توفير الشدات إتمام الأعمال الإنشائية وغيرها على مستوى الأرض ، بدلا من إتمامها على ارتفاعات شاهقة (أشكال من ١٢١ إلى ١٢٥) .

وسبق التجهيز على الأرض لأسقف قشرية رفيعة كاملة قبل رفعها إلى أماكنها في المبنى يحقق وفراً

* في الغرفة التجارية في مدينة كوربس كرسى (Corpus Christi) بتكساس .

** في مصنع مكثات في مدينة كليفلند بولاية أوهايو (٣٥) .

*** في مبنى المعامل في معهد أبحاث جنوب الغرب (South West) في مدينة سانت أنطونيو بولاية تكساس (٢٦) .

كبيراً في الشدات مع خفة في وزن الوحدات المرفوعة ، بحيث يمكن رفع سقف قشري كامل باستخام أوناش صغيرة . وقد استعملت اثنتا عشرة وحدة قشرية انتقالية مزدوجة الانحناء ، تتكون من انتقال قوس دائري بجره ٨ م وارتفاع أعلى نقطة فيه عن طرفيه متر على محيط قوس مماثل له وعمودى عليه ، لتغطية بوائك مربعة طول ضلعها ٨ أمتار في السوق المجمعة لمدينة نيوكان (New Canaan) بولاية كنتكتك (شكلي ١٢٦ ، ١٢٧) . ويمكن بسهولة استعمال هذا النظام الذي ضممه المعمارىون فكتور كرايست — جانر (Victor christ-Janer) وشركاهم وبإشراف الإنشائيين بول وايلدنجر (Paul Weidlinger) وماريوسالقادورى (Mario Salvadori) لإنشاء صدفات تتراوح بحورها ما بين ١٠ و ١٣ متراً .

وقد ابتكر المهندسان سولانو وأورتيجا (Solano & Ortega) صدفات أسطوانية سابقة التجهيز تستخدم على نطاق واسع لأغراض معمارية مختلفة في كولومبيا وأمريكا الجنوبية. والصدفات أسطوانية ذات استدارة داخلية وخارجية بنفس نصف القطر . ويمكن صب من ٣٠ إلى ٤٠ صدفه منها الواحدة فوق الأخرى (شكل ١٢٨) . ويسمح تجفيف الخرسانة بطريقة تفريغ الهواء بصب ثمانية أسقف يومياً (شكل ١٢٩) . وقد استخدم المهندسان في رفع البلاطات طريقة تعتمد على تفريغ الهواء ابتكرها مهندس أمريكي يدعى كارل بلنر (Karl P. Billner) وسجلها باسمه . وقد رفعا بهذه الطريقة أسقفاً من صدفات أسطوانية يباغ طول الواحدة ١٣ متراً وسمكها ٤ سم وذلك في بناء ٦٠٠ منزل اقتصادى في بوجوتا ما بين عامى ١٩٥١ و ١٩٥٤ (شكل ١٣٠) . كما استخدمها المعمارى فرانسيسكو بيزانو (Francisco Pizano) فيما بعد لإنشاء مصنع كلارك (Clark's Chicle) في بوجوتا سنة ١٩٥٢ (الأشكال من ١٣١ إلى ١٣٤) ، وكذلك استخدمها أورتيجا في إنشاء مصنع للبلوكات الخرسانية في بوجوتا سنة ١٩٥٤ .

الوصلات بين الوحدات الجاهزة

يعتبر الاستمرار المادى بين الوحدات الإنشائية ميزة هامة أساسية للمنشآت الخرسانية المسلحة المصبوبة على الموقع . هذا الاستمرار المادى لا يتحقق بالكامل في الإنشاء بالوحدات الجاهزة حيث تتصل وحدة بأخرى عن طريق وصلات تم في أوضاعها النهائية بعد فترة زمنية من عملية الصب السابق للوحدات ذاتها ، وهنا تم الوصلات جافة (Dry Joints) بلحام نهايات من الصاج أو بمسامير قلاووظ لتثبيت الكمرات والتطريجات والحوائط كل في مكانها ، أو تم وصلات سائلة (Wet Joints) بصب خرسانات حول أسياخ ممتدة من وحدة لأخرى وفي مكان مفرغ خصيصاً لهذه الوصلات . كما يمكن أن تم بالجمع بين اللحام للأسياخ الحديدية والخرسانة المصبوبة حول الأسياخ .

ويعتبر تكوين الوصلات بين الوحدات السابقة الصب من أهم التفاصيل التي يتوقف عليها نجاح الإنشاء ومظهره العام . ومن الأمور الواجب مراعاتها إمكانية تحمل الوصلة للأحمال المتوقعة المتكررة والإجهادات الخاصة التي تتعرض لها ، ومدى احتمالات الظروف الجوفاء والحرق ، ومدى إمكانية تنفيذها ، ونوع المواد المستعملة وتكاليفها ، وكذلك مظهرها الخارجى .

ونوع الإجهادات التي تتعرض لها الوصلة هو الذى يتحكم فى تحديد شكلها . هذه الإجهادات قد تكون نتيجة للانضغاط أو الشد أو القص أو عزوم الانحناء ، أو الالتواء . ومن المحتمل تعرضها لكل هذه الإجهادات مجتمعة ، والأشكال من ١٣٥ إلى ١٣٨ تبين حاولا مختلفة لأنواع الوصلات المذكورة .

والوصلات التي تواجه المصمم بالوحدات السابقة الصب هي وصلات الأعمدة بالأساس ، وهذه يمكن حلها لمختلف حالات التحميل البسيط كما فى (شكل ١٣٩) والتحميل نتيجة لعزم انحناء بسيط ولعزم انحناء كبير . أما وصلات الكمرات بالأعمدة فهي كما فى (شكل ١٤٠) للأعمدة المنتهية . ولوصلة الكمرات بالأعمدة المستمرة باستعمال الإجهاد اللاحق ، والحل الأخير يصلح لكمرات ذات بحر يصل إلى ٢٠ أو ٢٥ متراً . وباستعمال كمرات وأعمدة مجوفة يمكن اتباع طريقة سيمونسون التي اتبعت فى تجميع وحدات مخزن للبحرية الأمريكية بمدينة ميكانيكس برج (Mechanicsburg) بولاية بنسلفانيا (شكل ١٤١) . أما وصلات الإنشاء بالحوائط الحاملة الجاهزة فتتم فى أغلب حالاتها عن طريق صب خرسانات فى فراغات رأسية بين بانوهات الحوائط وأفقية لربط الحوائط والأسقف بعضها ببعض ، والخرسانة تصب حول أسياخ حديدية بارزة من الوحدات داخل هذه الفراغات (شكل ٩٠ ، ٩١) .

وفى بناء الهياكل السابقة الصب يمكن اختيار الوصلات فى المواضع التي يوجد فيها أقل انحناء ، وحينئذ تختصر الإجهادات بالوصلة إلى إجهادات شد أو انضغاط . وقد استعملت هذه الطريقة فى مخزن البحرية الأمريكية السابق الإشارة إليه بولاية بنسلفانيا حيث استخدمت فى الإنشاء أعمدة وكمرات صندوقية صببت وصلاتها على الموقع (شكل ١٤٢) . وقد أمكن تلافى التعقيدات باختيار الوصلات فى مناطق أقل الجهود . ولضمان الاستمرار المادى الجزئى فى الهياكل الإنشائية المستمرة يمكن عمل ركوب كاف لأسياخ التسليح البارزة ثم تصب الخرسانة المحيطة (شكل ١٤٣) أو تلحم الأسياخ كهربائياً قبل صب الوصلات . وقد أجريت عدة تجارب على هذه الطريقة فى معمل المعهد الفنى (Polytechnical School) بميلانو وثبتت صلاحيتها . والحرب العالمية الثانية كانت مجالاً للاختبار الواقعى

لمثل هذه الوصلات عندما نسفت أسقف حظائر الطائرات الإيطالية السابقة التجهيز التي نفذها نيرثي مستخدماً اللحام الكهربى ، فسقطت على الأرض وهى متماسكة كقفص حديدى جبار . مثل هذه الوصلات التى تم على الموقع تتحمل إجهادات الضغط بكفاية تامة ، ولكنها لا تتحمل إجهادات الشد . ويمكن تجميع الوحدات السابقة التجهيز لتكوين عناصر إنشائية أكبر عن طريق الإجهاد اللاحق بواسطة كابلات من الصلب (Post-tensioned) . وقد استخدم المهندس الفرنسى فريسينييه (E. Freyssinet) هذا النظام فى إنشاء عدة « كبرى » على نهر المارن بفرنسا بدون أى صلبات . كما أجرى المهندس ل . كوف (L. coff) عدة تجارب فى الولايات المتحدة عام ١٩٥٣ على إنشاء البلاطات باستخدام قوالب خرسانية مفرغة تربط بينها كابلات لائحة الإجهاد . وقد شجعه نجاح هذه التجارب على اقتراح تلك الطريقة لإنشاء مبنى متعدد الطوابق بدون شدات (شكل ١٤٤) .

كما توصل مهندسان من أرجواى هما لويس موندينو وليونيل ثييرا (Louis A. Mondino & Leonel Viera) إلى تجميع بلاطات خرسانية سابقة التجهيز سابقة الإجهاد بسلك ٥ سم بتعايقها على أسلاك معلقة من حلقة دائرية . وقد تمكنا بمساعدة شركة بريلود Preload من نيويورك من بناء سقف حلبة فى مونتفيدو يبلغ قطرها ١٠٠ متر باستخدام ٩٠٠٠ بلاطة خرسانية على شكل شبه منحرف سابقة الصب مسكها ٥ سم تجميع بواسطة كابلات الإجهاد اللاحق (شكلى ١٤٥ ، ١٤٦) . وقد علقنا هذه البلاطات على ٢٥٦ كابلاً شدت إلى حافة شد مركزية من الصلب وحلقة ضغط محيطية من الخرسانة المسلحة . واكفى بمنح المعمارىان تذبذب السقف لجأ إلى شد الكابلات بوضع حمل يوازى ٥٠٪ من وزنه من قوالب الطوب فوق البلاطات الخرسانية . وعندما تم تحميل السقف بهذه الكيفية اتسعت الفواصل المركزية والمحيطية وملئت بالمونة فوق صلبات من ألواح الأسمنت والأسبستوس . ورفع الأحمال الزائدة يتحول الشد السابق فى الكابلات إلى ضغط دائم على البلاطات الخرسانية يحدد الشكل العام للقبعة المقلووبة ويمكن أى اهتزازات نتيجة لقوى أفقية أو علوية . وقد قامت مجموعة من طلبة كليات العمارة والهندسة بجامعة كولومبيا فى عام ١٩٥٦ بتصميم وإنشاء استراحة بمعسكر كولومبيا الصيفى بمدينة ليتشفيلد (Litchfield) بولاية كنكتكت . والاستراحة تشبه المبنى السابق ولكنها أصغر حجماً ، إذ يبلغ قطرها ١٦ متراً ونصف متر (شكلى ١٤٧ ، ١٤٨) . وقد طبق فيما بعد نفس المبدأ الإنشائى على مبان بيضاوية ومستطيلة ومربعة .

هذه الطريقة تحل كثيراً من المشكلات التى تواجه الإنشاء بالخرسانة السابقة التجهيز أو المصبوبة على الموقع ؛ إذ يمكن استعمال وحدات سابقة التجهيز تتميز بالخفة وصغر الحجم وسهولة النقل كصلبات

الجمع بين سبق التجهيز والصب على الموقع :

مستديمة للخرسانة المصبوبة على الموقع (شكل ١٤٩) . وفي هذه الحالة يتكون قطاع مركب (Composite section) من الأجزاء الجاهزة والخرسانة المصبوبة على الموقع . يكفي لحمل الأحمال الميتة والحية . ولا يحتاج إتمام العمل إلا إلى صلبات مؤقتة بسيطة للغاية ترتكز عليها وحدات المبنى الجاهزة لتساعد على حمل الخرسانة المصبوبة والعمال حين اكتمال القطاع المركب . وتمتد أسياخ التسليح من القطع الجاهزة لتصب حولها خرسانة الجزء المصبوب بالموقع لتكوين قطاع متماسك . وقد أتقن نيرفى تطبيق هذا النظام على عدد من تصميماته الحديثة ، فاستخدم للأجزاء السابقة التجهيز بلاطات من مونة الأسمنت بسمك ٢ سم مسلحة بأسياخ رفيعة وشبكة من الصلب . وتبرز أسياخ التسليح من الأسطح الداخلية للبلاطات السابقة التجهيز . وهذه شكلت على شكل بلاطات ذات حواف بحيث إذا ما وضعت متلاصقة الواحدة تلو الأخرى تتكون بين جوانبها فراغات للكمرات التي تصب على الموقع (شكل ٧٩ - ٨٠) . والخرسانة التي تصب في أماكنها داخل هذه الكمرات وفوق البلاطات وحول التسليح تجعل من القطاع كله وحدة متماسكة .

وقد استعمل نيرفى تشكيلات مختلفة من هذا النظام لإنشاء السقف الكروى الذى يغطى إحدى قاعات العرض بمبنى معرض تورين عام ١٩٤٨ (شكل ١٥٠) وفي سقف مطعم الكورسال بضاحية اوستيا في روما عام ١٩٥٠ (شكل ١٥١) وكذلك القبة في البيضاوية لصالة الرقص في شيانسيانو سنة ٥٢ - ١٩٥٣ (شكل ٥٣٤) .

ويمكن استغلال مبدأ الجمع بين سبق التجهيز والصب على الموقع لإنشاء بلاطات خرسانية مسطحة على درجة عالية من الاستمرار والتماسك بدون استعمال شدات ، وذلك عن طريق سبق التجهيز للأجزاء السفلية من كمرات خرسانية مع ترك الكانات بارزة خارج الخرسانة . وترص هذه الكمرات على مسافات ثابتة وتوضع فوقها بلوكات خرسانية جاهزة مفرغة ، ثم يغطى الجميع بخرسانة مصبوبة على الموقع تملأ الأجزاء العليا من الكمرات وتكسو البلوكات بسمك ٥ سم . وقد استعملت شركة بونيفيكا (Bonifica) الإيطالية هذه الطريقة في إنشاء منازل مديرية التحرير بالجمهورية العربية المتحدة بكمرات يمكن رفعها بعاملين بارتفاع ١٥ سم وعرض ١٥ سم لبحور ثلاثة أمتار (شكل ١٥٢) . لم يحتاج العمل إلا إلى مداد واحد عند منتصف كل كمرة يوضع حين شك الخرسانة المصبوبة على الموقع . ومن الممكن تطوير هذه الطريقة باستعمال بلاطات جاهزة مسطحة بدلا من البلوكات المفرغة (شكل ١٥٣) : كما يمكن عمل الكمرات الجاهزة من بلوكات فخارية أو خرسانية صغيرة بارتفاع حوالى ٧ سم لبحر ٣ أمتار ، يتم

تجميعها على الموقع بواسطة أسياخ حديدية ترص في فجوات فيها ثم ترفع يدوياً إلى موقعها ليم صب الخرسانة فوقها بالطريقة السابقة (شكل ١٥٤) * .

وعلى الموقع يمكن استعمال بلوكات سابقة التجهيز من الخرسانة أو الطوب كشدة دائمة لحوائط خرسانية مسلحة ذات ارتفاعات كبيرة ، وقد استعملت هذه الطريقة في إنشاء برج مارشيسون التذكاري (Murchison Memorial) في جامعة ترينتي بارتفاع ٥٥ متراً . وقد بنى عام ١٩٦٤ من أربعة أجزاء مقعرة مكونة للحوائط الأربعة . والشدة الدائمة مكونة من حائط طوب داخلي وخارجي سمك ٤ بوصات يستعمل كشدة وكسطح خارجي . ويرص التسليح وتصب الخرسانة داخلها في أجزاء كل منها بطول ٤ أقدام :

وقد أدى استخدام دومنيكوس بوم لنظام من الصلبات المستديرة في كنيسة نيو ألم عام ١٩٢٦ (شكلي ٦٤ ، ٦٥) إلى تبسيط عملية تنفيذ الأشكال المنحنية إلى حد بعيد . وفي طريقة بوم تتألف الشدات من شبكة من وحدات صغيرة من الطين المحروق تجمعها أسلاك مثبتة في أسياخ التسليح ، والأسياخ الرئيسية منها ترتبط بالكمرات الخشبية المؤقتة بواسطة أسلاك أخرى : ويغطي السطح العلوي للشبكة بطبقة من الخرسانة الخفيفة بسمك ٢,٥ سم (بوصة واحدة) . وبعد يومين أو ثلاثة تصب الخرسانة العادية فوق هذه الطبقة * * ، ثم يطلى السطح السفلي للشبكة بالأسمنت وتقطع الأسلاك التي تحملها تمهيداً لإزالة الكمرات الخشبية بعد تصلب الخرسانة (٣٧) . ويصلح هذا النظام أو تعديلاته كوسيلة لتحرير الخرسانة المسلحة من قيود الشدات الخشبية .

ومن الممكن استعمال أسطح ذات خواص عازلة أو زخرفية كصلبات دائمة . مثال ذلك استعمال ألواح عازلة للحرارة أو الصوت كألواح الاسبستوس السمنتي أو ألواح البوركس (Porex Boards) في عمل الصلبات : كما يمكن إنتاج ألواح زخرفية ذات ألوان أو ملمس أو تشكيلات خاصة في المصنع أو على الموقع ، ثم تنقل إلى أماكنها في المبنى حيث تعمل كأسطح خارجية يصب فيها القلب الداخلي . وقد استعمل فرانك لويد رايت هذه الطريقة في كثير من مبانيه الخاصة . وهكذا يمكن استغلال مميزات

* هذا الحل اقترحه بحث تم في معهد بحوث البناء بالجمهورية العربية المتحدة تحت إشراف المؤلف . كما تمت تجارب تحميل على نماذج من الكمرات والأسقف سابقة الصب ذات بحر يساوي ٣-٣ متراً .

* * استعملت طريقة بوم خرسانة مكونة من جزء أسمنت بورتلاندي وجزء رمل نهرى نظيف وجزء أو جزأين رمل بوميس أو رباد بركاني . (Onderdonk, The Ferro-Concrete Style, Architectural Book Publishing Co., New York, 1928, p. 39.)

الإنتاج الصناعي على نطاق واسع بالإضافة إلى الصب الأفقي في ظروف مناسبة لتحقيق مستوى أعلى من الجودة وإنهاء أفضل الأسطح مع الاحتفاظ بالاستمرار المادي المميز للصب المستمر على الموقع .

يتحقق وفرة كبير في عمل صلبات الأسقف المنحنية إذا ما كان تسليح الأسقف من الليونة والقوة بحيث يتشكل كشدة دائمة للخرسانة المصبوبة حوله . ويصلح الشبك الممدد (Expanded metal) ذو الفتحات التي لا تسمح بمرور الخرسانة خلالها لاستعماله كمادة لتسليح الخرسانة وكصلبة مستديمة لها (شكل ١٥٥ ، ١٥٦) . ويقوى هذا الشبك بكرات على شكل حرف U أو T كما يمكن إضافة أسياخ تسليح خفيفة إذا دعت الحاجة إلى ذلك . وهذا الشبك يتقبله للتشكيل بسهولة على منحنيات متفاوتة القطر يسهل صب الأسطح الخرسانية المنحنية بتوفيره نفقات الصلبات الخشبية المؤقتة* (شكل ١٥٧) .

وقد يتحقق قدر كبير من الوفرة في عمل الصلبات إذا ما كان التسليح المستخدم من القوة بحيث يستعمل في حمل الغلاف الخارجى للصلبة وما يصب عليه من الخرسانة . ففي نوع التسليح الذي استخدمه هايات كان من الممكن تعاقب الشدات من الأسلحة الراسية كما تعمل الأسياخ العرضية كمقويات في الاتجاه العمودي . وقد تحقق وفرة في عمل شدات مصنع الأسفلت التابع لبلدية مدينة نيويورك وذلك بانتقال شدات العقود الخرسانية على تسليحها المكون من قطاعات صلب إنشائي خفيفة حتى يتم صب العقد بأكمله . هذا وقد أصبح منتشراً في أسواق أمريكا ألواح من الصاج المسوج المجدد كشدة للبلاطات الخرسانية وكتسليح لها . والتجاعيد بجوانب التموجات تعمل لزيادة التماسك بين الصاج والخرسانة التي ستصب فوقه ، وتفاوت أشكال التموجات والتجعدات من إنتاج لآخر . ولا يحتاج مثل هذا التسليح إلى أى شدة مؤقتة أسفله قبل صب الخرسانة .

تعدد استعمال الصلبات كاملة أو أجزاء منها يجب أن يكون هدفاً يسعى إليه المهندس لما له من الاستعمالات المتعددة للصلبات :

* بعد نشر هذا الاقتراح سنة ١٩٥٨ بالطبعة الأولى للكتاب ظهرت تطبيقات في أمريكا عرفت باسم (Reinforced thin-shell construction) . وقد بنيت بها قبتان توأمتان متلاصقتان لأحد مطاعم شركة شفلز (Cheffess) والقبتان مكونتان من ثمانية جمالونات فراغية منحنية محملة على ست قواعد . والجمالونات متصلة بأسياخ مربعة مجوفة ١ بسمك بوصة في كل اتجاه ، وهذه الأسياخ تحمل الشبك الممدد سمك $\frac{3}{8}$ بوصة . كما أضيفت ست دوائر كاملة من أسياخ التسليح حول كل قبة لمقاومة الدفع الجانبي للقبة . وقد رشت الخرسانة بسمك $\frac{3}{4}$ بوصات على الشبك الممدد مضافاً إليها مادة رغوية (vanifoam) مكونة فقاعات غازية في الخرسانة الخفيفة الوزن (شكل ١٥٨) .

قوائد اقتصادية واضحة . وعليه أن يخطط لذلك في مراحل التصميم الأولى للخرسانة المسلحة المصبوبة على الموقع لما يفرضه هذا الهدف من قيود على عملية التصميم المعماري .

إذا بلدنا بتعدد الاستعمال الكلي للصلابة نجد أن البالونات ذات الهواء المضغوط تتيح إمكانيات إنشائية ومعمارية واسعة في هذا المجال . وقد اخترع المعماري الأمريكي والاس نف (Wallace Neff) عام ١٩٤٠ طريقة تعرف بطريقة ايرفورم (Air Form) طورها من بعده المعماري اليوت نويز (Eliot Noyes) . وفيها تستعمل البالونات من النيوبرين والنايلون يضغط فيها الهواء إلى ضغط داخلي معين (شكل ١٥٩) ثم يوضع على التسليح الذي يتكون من شبكة من الأسياخ الرفيعة تحيط بالجزء الرأسي السفلي وسلك حذاء رفيع (chicken wire) بالجزء العلوي (شكل ١٦٠) . ثم ترش الخرسانة على طبقات سمك الواحدة ١ سنتيمتر لتكون سقفاً قشرياً سمكه ٥ سم عند القاعدة و ٤,٥ سم عند القمة (شكل ١٦١) . وبعد ٢٤ ساعة يفرغ البالون ويسحب إلى خارج القبة القشرية من خلال فتحة فيها . ثم ترش الصلابة بأكملها بمادة (Vapor seal) وتجلد بطبقة عازلة من لفات من الصوف الزجاجي تؤلف غطاء محكماً بسمك حوالي ٤ سم ثم تصب قشرة خرسانية ثانية بنفس سمك الأولى مستعملة الطبقة الأولى كصلابة لها . وقد طبقت هذه الطريقة في استعمالات معمارية محدودة ، في حين لم تذهب تصميمات أخرى إلى ما هو أبعد من مرحلة الدراسة . وما زالت احتمالات التوسع في استعمال الهواء المضغوط كحامل مؤقت للخرسانة المسلحة في يد رجال الصناعة والمقاولين والمعماريين لاستكشافها . ومن حيث المبدأ أثبتت المحاولات نجاح هذه الطريقة في أنواع محددة من الإنشاءات .

وقد استنبطت أنواع من الصلبات المتحركة أفقياً ورأسياً للاستعمالات المتكررة ، وخاصة في المنشآت ذات الوحدة المتكررة . وفي هذه الحالة يتحقق وفركبير في تكاليف الشدات وفي الوقت اللازم لإقامتها وإزالتها . وتعتبر المباني المكونة من بوائك عديدة متكررة ميداناً صالحاً للاستفادة من الاستعمالات المتعددة للصلابة المتحركة أفقياً . مثل هذه الصلبات قد تستعمل لإنشاء مبانٍ مستطيلة كبيرة ذات أسقف أفقية ، أو صدفات أسطوانية متعددة البوائك (شكل ١٦٢ ، ١٦٣) . وقد حقق نيرفي تلك المميزات الاقتصادية باستخدام صلبات الأسمنت المسلح المتحركة أفقياً في إنشاء مخزن الطباقي في بولونيا عام ١٩٤٩ (شكل ١٦٤) وفي مصنع جاتي للصوف (Gatti Wool Mill) بروما سنة ١٩٥١ (شكل ١٦٥) وفي مبنى مصنع من ثلاثة طوابق بتورين بطول ٢٠٠٠ قدم سنة ١٩٥٤ . وقد تطالب إنشاء ٣٦٠٠٠ متر مربع من البلاطات الخرسانية في المصنع الأخير ٣٠٠٠٠ ساعة عمل خلال ١٠٠ يوم^(٣٨) . مثل هذا

الوفر في ساعات العمل ، وهو الأمر المرغوب فيه في البلاد الصناعية كالولايات المتحدة ، يتيح فرصة تبني هذه الطريقة وخاصة في المباني الصناعية ، ولا سيما في حالة الاحتياج إلى مبان مقاومة للحرائق .

ومن الممكن أن تستعمل وحدات كاملة من الشدات المتحركة رأسياً وخاصة بالمنشآت الخرسانية ذات الحوائط الحاملة . وتظهر الفائدة الاقتصادية لصلبات قفزة الضفدع (Leap-frog) الصاعدة ، والصلبات الزاحفة (Slip form) في صوامع الغلال (شكل ١٦٦) ؛ وفي المباني المتعددة الطوابق . مثل هذه الصلبات تحقق وفراً أكيداً في الوقت الضائع في فك الشدات وإعادة تركيبها بالنسبة للمباني العالية . وقد تطورت طريقة كونكريتور - بروميتو (Concretor-Prometo) للصلبات الزاحفة بواسطة المهندسين السويديين لنلدمان وهايدينستام (Emrik Lindman & Erik Van Heidenstam) في أواخر الأربعينات ؛ وهي تستعمل الآن على نطاق واسع في إنشاء السدود والصوامع وخزانات المياه والمنارات ، وكذلك في الإنشاء السريع للعمارات العالية . وعملية الانزلاق للشدّة تتم عن طريق روافع هيدروليكية بسيطة ، وهذه يمكن تشغيلها كهربياً بواسطة مضخة زيت تعمل على الروافع جميعها تحت إشراف شخص واحد وبمعدل رفع من ١٥ سم إلى ٤٠ سم في الساعة . هذا المعدل يتوقف على حالة الجو وسماك الحائط ونوع الخرسانة ومعدل تصلبها . والجهاز يمكن تثبيته على أي سمك للحائط ، وبشدات مستقيمة أو منحنية . وتوضع أسياخ التسليح داخل الشدات المتحركة مع ترك الفتحات المطلوبة ، كما في الإنشاء العادي . والأجهزة يمكن فكها وتركيبها في ساعات قليلة ، ومن أهم أمثلة استعمال هذه الطريقة خزان مياه سعة مليون جالون بارتفاع ١٩٥ قدماً وقطر ٩٨ قدماً في تايلر (Tyler) بولاية تكساس . وقد تم سبق الإجهاد اللاحق للمنشأ رأسياً بوضع أسياخ التسليح رأسياً في أسطوانات من الصلب ، وأفقياً بواسطة أسياخ دائرية حول حائط الخزان والقبة المغطية له . وهذه كسيت بطبقة من خرسانة المسدس لتغطية التسليح . والإجهاد اللاحق تم من الشدة المحمولة بواسطة القالب المنزلق . وقد استعملت هذه الطريقة في الإنشاء السريع لعمارات سكنية . ومن المشروعات النموذجية عمارة سكنية ذات تسعة طوابق في المدينة السويدية اسكيلستونا (Eskilstuna) بارتفاع ٢٧ متراً وطول ٢٧ متراً وعرض ٢٠ متراً . وقد ابتدأت الأعمال الخرسانية يوم ٢٥ نوفمبر سنة ١٩٥٧ ، وانتهت الأعمال في الطوابق التسعة في ٥ ديسمبر من نفس السنة . وانتهت أعمال الأرضيات وطلاء الحوائط وعمل الفتحات والأدوات الصحية وغيرها من التشطيبات . وقد تم صب الحوائط الخارجية والداخلية بواسطة الشدات المنزلقة بواسطة مضخة واحدة تنزلق بمقدار $2\frac{1}{4}$ سم كل سبع دقائق

ونصف دقيقة . وقد وضعت النوافذ مباشرة في الحوائط الخارجية ، كما تركت أسياخ عند الارتفاعات المناسبة في الحوائط لربطها بالأسقف التي صبت بالطريقة العادية .

وقد أصبحت طريقة الصبات الزاحفة الطريقة المثلى لتطور إنشاء كبير بالنسبة للأبراج السكنية أو المكتبية العالية . وقد أصبحت الطريقة المتبعة الابتداء بإنشاء برج الخدمات الذي يحوى السلام والمصاعد وغيرها من الخدمات العامة عن طريق الصلبات الزاحفة إلى ارتفاع معقول ، ثم يوضع ونش كبير على البرج الأوسط يستعمل في الإنشاء لبقية أجزاء المبنى المحيطة من نقطة مركزية عالية ، وذلك عن طريق الصب على الموقع أو بواسطة الوحدات الجاهزة . وقد استعملت هذه الطريقة في إنشاء مجموعة ناسبيدال (Nasbydal) السكنية وهي تبعد ١٠ أميال من ستكهولم . والمجموعة تتكون من ثمانى وحدات ذات سبعة عشر طابقاً . وقد استعملت شدات كونكريتور - بروميتو السابق الإشارة إليها في صب أبراج الخدمات في قلب كل وحدة بمعدل ٣ أسابيع لكل وحدة . وبانتهاء البرج يتم تجميع الونش في أعلاه ، وهذا يستمر في مكانه إلى نهاية المشروع (شكل ١٦٧) . هذا الونش يؤدي جميع الأعمال اللازمة من تثبيت للحوائط الجاهزة والبلاطات وغيرها من الوحدات . كما أنشأ البرج الدائرى للخدمات بعمارات مارينا سيتي (Marina City) بشيكاغو بارتفاع ١٩٠ متراً ، وبقطر ١٠ أمتار ، باستعمال نفس الطريقة . ولم يكن الصب مستمراً كما في حالة الصلبات الزاحفة ، ولكن على دفعات لكل طابق على حدة .

وفي الصدفات الدورانية يمكن استخدام الصلبات الدائرية (Cyclic formwork) وينقسم التنفيذ إلى مراحل متعددة تصب في كل منهما شريحتان متقابلتان تتركز كل منها على الأخرى (شكل ١٦٨) . وفي كثير من المنشآت يصعب الوصول إلى هيكل كامل يصلح أن يكون صلبة متعددة الاستعمال لأجزاء متكررة من المنشأ ، وعندئذ يمكن تكرار استعمال وحدات أصغر من الصلبات . من هذه الوحدات البانوهات الأبلكاش بمقاسات وأشكال على معدلات ثابتة بحيث يمكن استعمالها مئات المرات في مبنى واحد ، أو في عدة مباني . مثل هذه البانوهات تثبت إلى هيكل حديدى . وقد تتيح بانوهات الصاج عدداً أكبر من الاستعمالات لأنها لا تنتفخ ولا تتمدد أو تنبعج الأمر الذى يحدث في الصلبات الخشبية .

الحرسانة مادة ذات إمكانيات ممتازة في المعالجة المعمارية للأسطح ، وتكوينها وطبيعتها اللدنة تفتح مجالات عديدة في اللمس واللون للملاءمة المطالب المختلفة للمنفعة والجمال . والحرسانة المكشوفة

معالجة الأسطح الحرسانية *

* يراجع الفصل العاشر لمناقشة النواحي الجمالية للأسطح الحرسانية .

يجب معالجتها بمهارة الأنصائي وعناية الفنان . فهي لاتنقاد للعمل السريع بدون توضحية كبيرة بالجودة والتحمل . فالسطح الحرساني المكشوف يحتاج في حالات خاصة إلى معالجة إضافية لتكسير أو تسوية البروزات والتتوعات أو أى مسطحات معيبة قد تظهر بعد رفع الشدة . كما أنه من الضروري ملء المسطحات المنخفضة بالمونة . مثل هذه الطرق غير اقتصادية ، وترك أجزاء معيبة في المظهر النهائي . وتعتبر المعالجة بالأدوات اليدوية ، أو التقسيم إلى حشوات ، أو عمل عراميس من الوسائل التي تنجح في إخفاء هذه العيوب . كما أن تعتمد إظهار انطباعات الشدات الخشبية على الحرسانة قد يقلل من عدم الانتظام أو التجانس في الأسطح الحرسانية . وفي هذه الحالة يلزم العناية بتوزيع الألواح الخشبية المستخدمة واختبار جودتها . وفي احتمالات أخرى يمكن إظهار جزئيات الزلط والرمل التي تكون الخلطة الحرسانية بواسطة الطرق أو الكشط والتسوية أو هبوب الرمل (Sand Blast) أو المسح بفرشاة سلك (Wire-brushing) بعد رفع الصلابة . وقد يضاف محلول الديكسترين (Dixtrin) أو أى محلول آخر من شأنه تأخير شك السطح الأسمنتي بحيث يتم نزعها بسهولة .

مثل هذه الطرق لكشف الركام غير مجدية إذا لم تبدل العناية الخاصة بنوع الركام المكشوف . وقد بدأت مجهودات ضخمة في البلاد الإسكندنافية لتحسين شكل السطح الحرساني عن طريق التحكم في شكل وتوزيع الركام . ومن الطرق المتطورة طريقة ناتور بيتونج (Naturbetong) وفيها تملأ القوالب بالركام المنظم بأحجام تزيد على ١,٥ سم وتهز القوالب لتركيز الركام وإلغاء الفراغات . وباستعمال أنابيب مدفونة في القوالب يتم صب خليط خرساني ، وبعد الشك تنزع القوالب وترش بالرمل^(٤٠) . ويظهر عند ذلك سطح متجانس وطريف ذوا احتمال كبير لتقلبات الجو كفيل بإخفاء عيوب الإنشاء . ويمكن استعمال الرش بالرمل لكشف أجزاء معينة من السطح (شكل ١٧٠) . وفي هذه الحالة يدهن السطح الداخلي كله بالديكسترين ثم يستعمل الفنان مسدساً خاصاً لرش الرمل ولرسم أشكال خاصة على السطح الحرساني . وهناك طريقة أخرى وهي تغطية القالب بأسطح من الكاوتشوك بالشكل المرسوم ثم يدهن الباقي بالديكسترين ، وعند نزع القالب يمكن رش المناطق المدهونة بالرمل ، ويكفي في بعض الأحيان معالجتها بفرشاة صلبة . هذه الطرق تستعمل في صناعة وحدات الواجهات الحرسانية السابقة الصب ، ويمكن في هذه الطريقة استعمال ركام ذي أنواع وأشكال متعددة .

وسبق: التجهيز يفتح مجالات لا حدود لها لنحو الأسطح الحرسانية من الناحية الفنية والإنشائية ،

وقد أصبح من الممكن في بلاد كثيرة بأوروبا وأمريكا توريد بانوهات خرسانية سابقة الصب من عينات ومقاسات ثابتة أو حسب الطلب ، ذات أسطح مزخرفة بالركام أو ذات انطباعات بارزة أو غاطسة لاستعمالها ككسوة خارجية للحوائط والأعمدة . وقد انتشرت مثل هذه التكسيات في أمريكا واتخذت أشكالاً وأنواعاً عديدة ، وأصبحت تحت الطلب في جميع الولايات . ومن الممكن إذا ما سلحت هذه البلاطات بطريقة سليمة أن تستعمل كشدة دائمة للقالب الخرساني المصبوب على الموقع . كما يمكن استعمال بلاطات ناعمة التشطيب كشدات دائمة وكأسطح داخلية للأسقف* .

وهناك اتجاه آخر للوصول إلى سطح خرساني من الركام المكشوف المنتقى ، وذلك بصب السطح الخارجي والقلب الخرساني في وقت واحد مع فصلهما مؤقتاً بلوح معدني يرفع مع سير العمل . كما وصلت جمعية الأسمنت البورتلاندي في أمريكا (Portland Cement Association) إلى طريقة نقل الركام (Aggregate Transfer method) وفيها ينتقل الركام الخاص من بانوهات (Liners) موضوعة على السطح الداخلي للشدة ليلتصق بالقلب الخرساني المصبوب داخلها** .

وتمثل التكسيات النهائية للأسقف القشرية حالات خاصة حيث يلزم أن تكون صلبة تتحمل السير عليها ، كما تتحمل اختلاف العوامل الحيوية ، سهولة الصيانة ، قليلة التكاليف ، مقبولة المظهر كجزء هام ومسيطر من واجهة المبنى . تحت هذه الظروف يكون اتخاذ قرار بشأنها ذا أهمية كبيرة من الناحية الانتفاعية والحماية . ومن المحتمل أن تترك الصدقات الخرسانية مكشوفة بدون كسوة اعتماداً على جودة اندماج الخرسانة وعدم مساميتها مع إضافة عازل للمياه في الخلطة . والكسوات المفضلة والمتوافرة حالياً هي الطبقات البتومينية أو الأسفلتية وألواح النحاس وبلاطات السيراميك أو الأزمالتو . وهناك دهانات استخدمت فعلاً من المطاط الصناعي ذات مقاومة للحرارة والبرودة وأشعة الشمس والزيوت والكيماويات والحريق ، وهي متوافرة تجارياً وبألوان متنوعة .

* بانوهات الأسمنت المسلح التي صنعها نيرثي استعملت كسطح داخلي في معظم مبانيه ودهنت بفرشة الأسمنت الأبيض للوصول إلى مظهرها النهائي .

** لتفاصيل أكثر استشر كتيب Portland Cement Association, Color in Architectural concrete by the

Aggregate transfer method (Chicago, Portland Cement Association, 1950), p. 1-11

الابتكارات التكنولوجية في مجال التصميم



استعملت أغلب المواد الإنشائية ومنها الحديد الزهر والمطامير والصابب والألومنيوم والخشب والخرسانة المسلحة ، على شكل كمثرات أو جمالونات تغطى بألواح خفيفة غير إنشائية . وفى مجال البحور الواسعة يمثل الحمل الميت لهذه الوحدات الإنشائية ، إذا ما نفذت بالخرسانة المسلحة ، عائقاً كبيراً نحو زيادتها . وقد كان التطوير التكنولوجى للخرسانة المسلحة نحو استغلال خواصها الذاتية حتمياً لكى تقف كمنافسة فى مجال الإنشاء المضاد للحريق . وقد وضع الخطوط الرئيسية لهذا التطوير أناس فنيون فى الصناعة قاموا بمعاملتها كمادة لها كيان خاص ، ومن أهمهم روبرت مايار المهندس السويسرى الذى قال عنها :

« الخرسانة المسلحة لا تنمو مثل الخشب ، كما أنها لا تسحب مثل الصلب ، وليس لها وصلات مثل المباني الحجرية ، ومن اليسير جداً مقارنتها بالحديد الزهر من حيث كونها مادة تصب فى قوالب . وقد ينفعنا أن نستفيد من الأشكال المكتشفة للحديد الزهر فى تحاشيها الخطوط المتعامدة والتجائها للاستمرار المادى بين الأجزاء التى تؤدى وظائف مختلفة » (١) .

والخرسانة المسلحة — كمادة بلاستيكية — أغرت المصممين ذوى الخيال الواسع بابتكارات إنشائية شكلت الخرسانة المسلحة بأشكال خاصة تلائم الطبيعة الأساسية للمادة .

البلاطة الخرسانية كوحدة إنشائية فعالة : تأثرت الاستعمالات الأولى للخرسانة المسلحة بالأساليب المتبعة فى مواد البناء السائدة ؛ فقد عالجت طريقة هنيك — وهى أساس لمعظم الاستعمالات المبكرة للخرسانة المسلحة — تلك المادة الحديثة بنفس طرق معالجة الخشب أو الصلب ، إذ كانت الوحدات الخطية كالكمثرات والتطريجات والأعمدة تحمل البلاطة المستوية غير الفعالة .

وقد امتاز روبرت مايار المهندس السويسرى بنظرته الجديدة إلى الخرسانة المسلحة ، وهى تتعارض تماماً مع نظرة أستاذه هنيك . وقد توصل بإيمانه واقتناعه القوى بإمكانيات الخرسانة المسلحة الخاصة إلى أبسط الحلول وأقواها مما جعل لأعماله تأثيراً كبيراً فى رسم اللغة الجديدة للخرسانة المسلحة .

وقد رأى مايار فى البلاطة الخرسانية وحدة إنشائية فى مقدورها نقل الأحمال مباشرة إلى الأعمدة دون الحاجة إلى كمثرات أو عقود . وقد علق مايار على التوزيع التقليدى ، بلاطة — كمرة — عمود ، وهو الذى استعمله هنيك وآخرون بقوله :

« وضع ذلك التوزيع كما لو كان الإنشاء بالخشب أو الصلب . فالكمثرات تمتد من الحائط

للحائط ، ومن العمود للعمود . وتتعامد مع هذه الكمرات الرئيسية كمرات ثانوية وتملأ الفراغ بينها
بلاطات ، وذلك دون اعتبارها وحدة إنشائية خاصة (٢) .

ومن عام ١٩٠٨ ابتداء مايار تجاربه على البلاطات بدون الكمرات المرتكزة على أعمدة مشرومية
(Mushroom Columns) وقد قام ببناء أول مبنى أوربي من هذا النوع في سنة ١٩١٠ وهو مخزن شركة
بشلسافت (Beschellschaft) بزيورخ . وقد تبعه بأعمال في نفس الاتجاه ومنها مخازن التدورف (Altdorf)
عام ١٩١٢ (شكلي ١٧١، ١٧٢)، وفي حوالى عام ١٩١٠، وعلى أساس مختلف ، ابتكر مهندس أمريكي
يدعى تيرنر (Turner) طرازه الخاص من البلاطة بدون كمرات . غير أن تصميماته اشترطت أن تمر كل
أسيخ التسليح فوق الأعمدة مما استلزم وجود بانوهات ساقطة عند هذه النقاط (شكل ١٧٣) .

وقد استخدم مايار البلاطة الإنشائية مقوسة أو مستوية ، كما جمع بين الاثنين في تصميماته
للكبارى الخرسانية وفيها اتجه إلى الاستفادة من كل عناصر الكوبرى كوحدات إنشائية حاملة ، فربط
البلاطة الأفقية الحاملة للطريق بالبلاطة المقوسة السفلية مكوناً جسماً متماسكاً مقاوماً للجهود التي يتعرض
لها المنشأ . وقد تم هذا باستعمال بلاطات رأسية رابطة ، وهذه أخذت أشكالاً متنوعة في تصميمات
مايار المختلفة . وقد اتبع مايار هذا الاتجاه في تصميماته للكبارى منذ عام ١٨٩٩ في
كوبرى ستاوفرشر بزيورخ (Stauffer Bridge) (شكل ١٧٤) * وكوبرى تافاناسا عام ١٩٠٥
(Tavanasa Bridge) (أشكال ١٧٥ إلى ١٧٧) . ومن الكبارى الأخرى التي بنيت على نفس الأسس
كوبرى سالجيناتوبل (Salginatobel Bridge) عام ١٩٢٩ - ١٩٣٠ (شكلي ١٧٨ - ١٧٩) وكوبرى
شفاندباخ (Schwandbach Bridge) بمدينة كانتن بيرن (Canton Berne) عام ١٩٣٣ (شكلي ١٨١ - ١٨٢)
وكوبرى المشاه فوق نهر تويس (Toess) بالقرب من وولفلينجن (Wulflingen) (شكل ١٨٣) . وباستعمال
عقود ثنائية وثلاثية صندوقية بنى مايار بعضاً من كباريه التاليه ذات المفاصل الثلاثة . وقد حقق هذا
التصميم اقتصاداً في عمليات الصلبات ومرونة أكثر في مسقط الكوبرى . وتعتبر الكبارى المقامة
على نهر ثور (Thur) بالقرب من سانت جال (Saint-Gall) بسويسرا عام ١٩٣٣ وعلى نهر أرف
(Arve) بالقرب من جنيف عام ١٩٣٦ (شكل ١٨٤) من ضمن أمثلة عديدة في هذا الاتجاه .

* اضطر مايار تحت ضغط موظي المدينة إلى إضافة تكسيات كلاسيكية لمواجهة هذا الكوبرى . مثل هذه التكسيات استثنى
عنها في أغلب الكبارى اللاحقة .

ويمتاز الأخير بتعبيره الرائع عن بلاستيكية الخرسانة المسلحة بأعمدته المرنة القريبة الشبه بالأشكال العضوية .

الصدفات القشرية :

Thin Shells

التطوير الذي قام به مايار في مجال البلاطات الخرسانية يعتبر مقدمة لتطور حديث في مجال الإنشاء الخرساني أعلن دخول الخرسانة المسلحة كمنافس اقتصادي في مجال تغطية البحور الواسعة ، ونقصد بهذا تحقق الإمكانية العلمية والعملية للإنشاء الخرساني القشري .

فالبلاطة الخرسانية المسلحة كما طورها مايار تعتبر عنصراً إنشائياً ذا كفاية أعلى بكثير من كفاية شبكة من الكمرات . وهذا يرجع إلى إدخال عنصري مقاومة الالتواء والتمدد ، الأمر الذي أشرك جزءاً أكبر من البلاطة في حمل الأثقال . ورغم ذلك ففي حالة البلاطات السميكة تكون إجهادات الانحناء أعلى بكثير من إجهادات التمدد^(٣) . وبذلك يبقى جزء كبير من قطاع البلاطة حول المحور المحايد غير فعال . أما في حالة البلاطات الرقيقة المرخمة فإن التمدد يصبح الظاهرة المتغلبة تبعاً لزيادة المرونة ، وعندئذ يقاوم قطاع البلاطة بأكمله الجهود القشرية المحورية الناتجة ، وينتج عن هذا زيادة الكفاية الكلية للبلاطة كإنشاء معلق معرض لجهود شد . وإذا قلبت هذه البلاطة الرقيقة وعرضت لأحمال موزعة تحولت إجهادات الشد المحورية إلى إجهادات انضغاط وشد محورية حسب طريقة التحميل . هذه البلاطة الرقيقة المنحنية هي ما نسميها بالصدفة القشرية . ويمكننا تعريف الصدقات القشرية بأنها المنشآت السطحية ذات الانحناء المفرد أو المزدوج وذات السمك الصغير بالنسبة للمسطح والمصنوعة من مادة تتحمل الانضغاط والشد . والفرق بين العقود التقليدية والصدقات القشرية هو أن في الأولى يعمل كل شريط ككمرة مستقلة ، في حين أن الثانية تعمل كسطح متماسك . كما أن نسبة السمك للبحر في الثانية أقل كثيراً من الأولى . وبينما المادة في الأولى تتحمل الانضغاط فلما نجد أن الصدفة القشرية لكي تعمل كصدفة يجب أن تتحمل المادة إجهادات الانضغاط والشد في الاتجاهين .

أول منشأ خرساني قشري معروف هو محطة للسكك الحديدية برسي (Bercy) بباريس سنة ١٩١٠^(٤) وقد تبعها محطة أخرى في ليل سانت سافير (Lille-St. Saver) بفرنسا سنة ١٩١١ ، كما أنشئت تسع وثلاثون حظيرة للطائرات من النوع الأسطوانى القصير ذات بحر ١٩٧ قدماً في آفورشير (Avord Cher) وإسترز (Istres) بمقاطعة بوش دي-رون (Bouches du-Rhone) بفرنسا سنة ١٩١٦ - ١٩١٧^(٥) .

وقد انتشر استخدام هذه الطريقة في الإنشاء في العشرينيات بعد ابتكار طريقة زايس - ديفيداج

(Zeiss-Dywidag) للإنشاء القشري. وقد استعملت القبوات الأسطوانية الطويلة لأول مرة في مصانع زايس سنة ١٩٢٤ وفي مدينة نيوس (Neuss) سنة ١٩٢٥ وتبعها أول سقف ذي بحر واسع (٧٥ قدماً) في صالة عرض بلسلدورف سنة ١٩٢٦. ومنذ ذلك الحين انتشر الإنشاء القشري في شتى أنحاء أوروبا. وكان أول استعمال للقبوات الطويلة على مقياس واسع في سنة ١٩٢٧ في صالة السوق في مدينة فرانكفورت على ماين (Frankfurt-on-Main) بطول ٧٢٠ قدماً وبحر ١٤١ قدماً وارتفاع ٧٥ قدماً (شكل ١٨٥) كما بنى يوجين فريسينييه صالة السوق في مدينة رايمز (Reims) عام ١٩٢٨ - ١٩٢٩ وورش الصيانة بمدينة بانيوه (Bagneux) من قطاعات شبه مخروطية (Conoids) على أعمدة منتظمة في نفس العام.

كما بنيت قبة دائرية في فرانكفورت سنة ١٩٢٨ لمرق الكهرباء (شكل ١٨٦) ويبلغ قطرها ٨٥ قدماً، في حين لا يتجاوز ارتفاع أعلى نقطة فيها عن منسوب قاعدة السقف الكروي ١١ قدماً. وقد نفذت الصدف بسمك ١٩ بوصة وبذلك تكون نسبة سمك الصدف إلى بحرهما هي ١ : ٦٥٠. وتعتبر صالة السوق بمدينة ليبزج (شكل ١٨٧) من أكبر النماذج المنفذة للقباب المشتمة وهي تغطي مساحة أبعادها ٧٨٣ قدماً و ٢٤٨ قدماً. ويبلغ بحر كل من القباب الثلاثة المكونة للصالة ٢٤٨ قدماً، والقبة مكونة من مجموعة أسطح أسطوانية ذات سمك ٣١ بوصة تتقابل على ضلوع لتكون مسطحة متعددة الأضلاع*.

وقد صممها المهندس داشنجر وريتير (Daschinger & Ritter).

ويعتبر الاستخدام العبقري لفريسينييه للأسطح المضلعة الرقيقة في بناء حظائر الطائرات بمطار أورلي بفرنسا استعمالاً رائداً لهذا النوع من الإنشاء. وقد استخدمت فيها قطاعات مضلعة صندوقية متكررة الواحد بجوار الآخر، وكل قطاع على هيئة القطع المكافئ ببحر ٣٢٠ قدماً وارتفاع ١٩٥ قدماً (شكل ١٨٨).

وقد استعملت القبوات المضلعة بتصرفات عديدة منذ الحرب العالمية الثانية في فرنسا في الحظيرتين التوعمتين بمرسيليا وفي إيطاليا بواسطة المهندس الإيطالي نيرثي في عديد من المنشآت الواسعة البحور (شكلي ١٠٦ ، ١٠٧).

وتعتبر أعمال المهندس الأسباني إدوارد تروخا (E. Torroja) قبل الحرب الأهلية الأسبانية سنة

* ومن الطريف أن نقارن هذه القباب بقبة تاريخية هي قبة كنيسة سانت بيتر بروما، والأخيرة ذات قطر ١٣١ قدماً ووزن كلي ٦٠,٠٠٠ طن في حين أن كلا من قباب ليبزج وزن ٢١٦٠ طناً بقطر ٢٤٨ قدماً. من هذه المقارنة نلاحظ خفة الوزن التي حققها الإنشاء الحرساني القشري.

١٩٣٤ - ١٩٣٥ في قبة السوق في الجيسيرس (Algecires) (شكلي ١٩٠ ، ١٩١) والسقف الأسطواني في فرنون ريكوليتوس (Fronton Recoletos) (شكل ١٩٢) وفي تغطية المقاعد بحلقة سباق ازارزويلا (Zarzuela) بمدريد ، أمثلة فريدة في استعمال أشكال مفردة أو مزدوجة الانحناء مستقلة أو في مجموعات (شكل ١٩٣) .

ويعتبر تصميم روبرت مايار للسقف القشري لصالة عرض الأسمنت بالمعرض السويسري القومي سنة ١٩٣٨/١٩٣٩ مثلاً تقديمياً للإنشاء بالصدفات الرقيقة في مرحلة مبكرة من تطورها (شكل ١٨٩) . ومن المسلم به أن هذا التصميم قد استوحى من حظائر الطائرات التي سبق لإنشاؤها بأورلي . ولم يكن وراء إنشاء الصدف الأسطوانية القشرية ، التي يبلغ بحرها ٥٣ قدماً وطولها ٧٠ قدماً وارتفاعها ٣٧ قدماً وسمكها $2\frac{3}{8}$ من البوصة ، أي غرض انتفاعي . وإنما كان الهدف منها الإعلان بطريقة دراماتيكية عن إمكانيات الأسمنت البورتلاندي في الحرسانة المسلحة . وفي وسط هذا السقف هيكلان للتثبيت (Stiffening frames) يبعدان ٩ أقدام أحدهما عن الآخر ، ويبرز على جانبي الهيكلين نصف السقف ذي القطاع المكافئ ، وأحد هذين النصفين مخروطي والآخر أسطواني . وقد أزيل هذا السقف عند انتهاء المعرض بعد إجراء سلسلة من التجارب عليه .

ومن الأسقف المزدوجة الانحناء تطورت وانتشرت صدفات القطع الزائدي المكافئ (Hyperbolic Paraboloid) في فرنسا* في أواخر العشرينيات بواسطة المهندسين الفرنسيين ومنهم مسيو ايموند (Aimond) من باريس . وفي إيطاليا نجد المهندس باروني (Baroni) في ميلانو في مقدمة من طوروا مثل هذا النوع من الأسقف منذ عام ١٩٣٤ . وتعتبر تصميماته لأسقف المصانع في ميلانو أمثلة رائدة في استعمال القطع الزائدي المكافئ كسقف للمساقط ذات الباكيات المتكررة (شكل ١٩٤) . وفي عام ١٩٣٨ استعمل باروني وحدات على شكل مظلة ، وكل وحدة تتكون من أربعة قطاعات زائدية مكافئة ، وذلك في سقف مخزن في مدينة فيرارا (Ferrara) (شكل ١٩٥) . وحديثاً صمم المعماري المهندس فيليكس كانديلا (Felix Candela) أشكالاً متنوعة لاستعمالات معمارية مختلفة . وقد استعملها في عدة مباني كالكناثس والأسواق ومباني المعامل والمصانع ومظلات الموسيقى (أشكال من ٣٧١ إلى ٣٧٣) . وتعتبر أعمال المهندس الفرنسي برنارد لافاي ذات أهمية تاريخية كبيرة في تطوير الصدفات

* لعل أول من استعمل هذا الشكل في القبوات الحجرية للكناثس هو المعماري جاودي (A. Gaudi) في تجاربه للوصول إلى تصميم إنشائي منطوق بالإضافة إلى العلاقة الرمزية لمكوناته من ضلعين ورأس بالثالوث المقدس (٦) .

القشرية وخاصة ذات الرواسم الخطية (Ruled Surfaces). فنذ عام ١٩٢٩ وهو مشغول بإنشاء أسقف من هذا النوع بأسمالك بلغت من بوصتين إلى ٢ ١/٢ لبحور تتراوح بين ١٠٠ ، ١٦٥ قدماً . وفي عام ١٩٣٣ أقام سطحاً قشرياً تجريبياً في درو (Dreux) مكوناً من أربع وحدات قطع زائدي مكافئ محددة بخطوط مستقيمة ، وكل وحدتين بارزتين مسافة ١٤ متراً عن الهيكل الحامل الأوسط (شكل ١٩٦) . كما أجرى لافاي تجارب بالأغشية المعلقة المعرضة للشد ، وقد تمكن من تنفيذ أفكاره في الجناح الفرنسي بمعرض زغرب عام ١٩٣٥ (شكل ١٩٧) .

وفي الولايات المتحدة أدخل الإنشاء القشري بواسطة شركة روبرتس وشيفر (Roberts & Shaeffer) للاستشارات الهندسية . وقد حصل على ترخيص لاستعمال طريقة زايس ديثيداج ، ومنذ ذلك الحين عهد إلى المكتب بتصميم عدد كبير من الأسقف القشرية بأنواع مختلفة للخدمة أغراض متباينة . ومن بين حظائر الطائرات التي تزيد عن الخمسين والتي صممها مهندسو الشركة ، اثنتان لهما أكبر بحر للصدفات الأسطوانية القصيرة في العالم وهما حظيرتا طائرات الجيش الأمريكي بمدينة رابيد سيتي (Rapid City) بولاية داكوتا الجنوبية ومدينة لايمستون (Limestone) بولاية مين (Maine) وقد أنشئتا سنة ١٩٤٩ (شكل ١٩٨) كما استعملوا الصدقات القصيرة في عديد من المنشآت الصناعية ومنها مصانع شركة باد (Budd Mfg) بفيلا دلفيا (شكل ١٩٩) . وتعتبر القبة الصدفية لمتحف هايدن الفلكي (Hyden Planetarium) في نيويورك من أقدم أمثلة الصدقات القشرية المزدوجة الانحناء في الولايات المتحدة (شكل ٢٠٠) . وقد كلفت الشركة فيما بعد بتصميم القبة فوق مسرح جامعة تولين (Tulan University) بنيو أورلينز وكذلك القباب البيضاوية المقامة فوق مرشحات التقطير في هيبينج (Hibbing) بولاية مينسوتا (شكل ٢٨٤) .

وتعتبر مؤسسة أمان وويتني (Ammann & Whitney) المهندسين الاستشاريين ، من طليعة الهيئات الهندسية الأمريكية التي يعزى إليها تطور الصدقات القشرية في الولايات المتحدة . وتعتبر حظائر طائرات شركتي الخطوط الجوية الأمريكية والخطوط الجوية العالمية التي تم إنشاؤها سنة ١٩٤٨ بشيكاجو بولاية إلينوي من الأمثلة الأولى لهذا النوع من الحظائر (شكلي ٢٠١ ، ٢٠٢) . وفي مجال الحظائر الحديثة التي تتطلب فراغاً أكبر للطائرات صمم المكتب نوعاً جديداً من الحظائر له سقف مجنح يرتكز على أعمدة وسطى ويبرز من الجهتين ويحتوي الجزء الأوسط على ورش الصيانة والمكاتب . أما السقف القشري فهو من النوع المضلع المسنم (Hipped plate) . وقد استعمل هذا التصميم في حظيرة طائرات شركة الخطوط الأهلية بميامي فلوريدا . وفي تصميم حظائر طائرات الخطوط الجوية العالمية بكانساس سيتي ونيويورك حيث

استلزم الضرورة مساحات أكبر ، استخدموا كابلات شد من الصلب مثبتة في دعائم خرسانية بالجزء الأوسط من المبنى . هذه الكابلات تشد أطراف السقف ذى المضلعات المسنمة من الجانبين (شكل ٢٠٣) . ويعتبر تصميمهم للسقف الكروي المرتكز على ثلاث نقط والمغطى لمسرح معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا (M. I. T.) تجربة فنية في مجال قل ارتياده من قبل (الأشكال من ٢٨٨ إلى ٢٩٠) .

وإلى اليوم مازال الإنشاء القشري صعب التنفيذ من الناحية العملية وباهظ التكاليف وخاصة في مجال الإنشاء ذى الباكيات المتوسطة البحور . ويعتبر إدخال سبق التجهيز لأسقف قشرية مفردة أو مزدوجة الانحناء وثابتة الأبعاد مجال تطور لمثل هذا النوع من الإنشاء نحو التوسع في الاستعمال ونحو سهولة وسرعة الإنشاء . وقد قام المهندس الإيطالي نيرثي بمجهودات هائلة في هذا الاتجاه ، وما زالت مجالات التقدم والتصرف بهذه الوحدات بلا حدود . هذا وقد أصبحت القباب القشرية السابقة الصب سهلة المنال في كولومبيا بأمريكا الجنوبية حيث استعملها المهندسان سولانو وأورتيجا في مشروعات عديدة . كما استعمل المهندسان ماريو سلفادوري وبول وايدلنجر وحدات سابقة الصب مزدوجة الانحناء في تصميمهما لسوق بنيوكانان بولاية كنتكت . هذه الاستعمالات الرائدة تقود طريق المستقبل إلى الإنتاج الاقتصادي لنوع معقد من الإنشاء يتطلب درجة عالية من التخصص .

الخرسانة السابقة الإجهاد :

يرجع تاريخ ظهور الخرسانة السابقة الإجهاد إلى عام ١٨٨٦^(٧) ، ففي هذا العام سجل ب . هـ . جاكسون (P. H. Jackson) من سان فرانسيسكو مواصفات هذا النوع من الإنشاء ، وقبل ذلك اقترح المهندس الألماني كوينن (Koenen) إعطاء منطقة الشد ضغطاً أولياً وذلك لإلغاء جهود الشد بالقطاع الخرساني^(٨) . وقد أجريت تجارب على كميات وضعت أسياخ حديد تسليحها العادي تحت الشد فأظهرت هذه التجارب أن من الممكن بهذه الطريقة زيادة حمل الكسر في الخرسانة فوق المعدل العادي للخرسانة المساحة . غير أنه نتيجة لقلة المعلومات عن انكماش وزحف الخرسانة (Concrete creep) وعدم توافر الطرق العملية لتوليد قوى شد كبيرة ، لم يؤخذ بمقترحات كوينن حينئذ . واستمر الوضع إلى عام ١٩٢٣ حينما سجل اختراعا للخرسانة سابقة الإجهاد ، أحدهما لمستر ديل (R. E. Dill) من مدينة الإسكندرية بولاية نبراسكا لإنشاء وحدات خرسانية لاحقة الإجهاد ذات حديد تسليح غير مرتبط بالخرسانة ، والآخر في فرنسا

* الكوبري فوق نهر مارن (Marne) بالقرب من ميو (Meaux) سمكه في القمة ٣٩ بوصة وبجده ٢٤٣ قدماً .

* هذا من أكبر الجسور الكباري ذات الكرة الصندوقية في العالم ، ذو بحر ٣١٢ قدماً ونسبة عمق إلى بحر تساوي ١ : ٥٦ .

CF J.J. Glosner & G. Stainer "Prestressed Concrete today" Progressive architecture, 34, Feb. 1953 P. 124.

للمهندس فريسينيه الذى أثبت أن حديد التسليح ذا القوة العالية ضرورى لنجاح عملية سبق الإجهاد .
ومنذ ذلك الحين ظهرت عدة نظم وتطبيقات للخرسانة سابقة ولاحقة الإجهاد، وتطورت تدريجياً في
أوروبا وأمريكا. وقد حقق هذا التطور نظرياً وعملياً إنشاء كبارى ذات نسب رشيقة وارتفاعات صغيرة مثل
كوبرى إسبى (Esbey) بطريقة فريسينيه (شكل ٢٠٤) * أو الكوبرى فوق قنال نيكار (Neckar) عند
هايلبرون (Heilbronn) بألمانيا * (شكل ٢٠٥) بطريقة فريترليون هاردت (Dr. F. Leonhardt) . وقد
اشتهر المصمم الأخير بالطريقة الحديثة في حل مسألة سبق الإجهاد الاقتصادى للكمرات المستمرة^(٩)، وقد
أدخلت هذه الطريقة في الولايات المتحدة بواسطة شركة بريلود (Preload Company)^(١٠) (شكل ٢٠٦) .
في أوروبا تقدمت طرق سبق الإجهاد بالنسبة للوحدات الإنشائية الخطية ، في حين أن سبق
الإجهاد للوحدات السطحية أحرز تقدماً في الولايات المتحدة . فبعد تجارب وبحوث واسعة بواسطة
شركة بريلود بمساعدة الهيئات العلمية في أمريكا وكندا توصلت الشركة سنة ١٩٤٣ لطريقة خاصة في
سبق الإجهاد المحيطى (Circumferential) والرأسى لحوائط الخزانات الخرسانية باستعمال سلك خاص عالى
القوة (أشكال من ٢٠٧ إلى ٢٠٩) . وبهذا أصبح من الممكن لأول مرة تصميم وإنشاء خزانات دائرية
خالية من الشدوخ بأقطار كبيرة . وقد تم إنشاء عدد كبير من هذه الخزانات في بقاع مختلفة من العالم
باستعمال هذه الطريقة . وتغطى هذه الخزانات وغيرها من الفراغات المعمارية الواسعة (شكل ٢١٠)
قباباً خرسانية قشرية ذات حلقات شد سابقة الإجهاد^(١١) .

من الأسهل إنهاء عملية سبق الإجهاد في المصنع عنها على الموقع حيث توجد المعدات اللازمة
للإنتاج الجيد السريع والتي لا تتوافر على الموقع . وقد انتشرت مصانع في أوروبا وأمريكا لإنتاج عديد من
الأنواع والأحجام لوحدات سابقة الإجهاد والتجهيز من بلاطات وكمرات وجمالونات . مثل هذه
الوحدات تكون أخف في الوزن وأصغر في الحجم وأسهل في النقل عن مثيلاتها من الخرسانة العادية .
ومن الممكن الوصول في المستقبل إلى اقتصاد أكبر في الشدة وسرعة في الإنشاء بالجمع بين الإنشاء
القشرى وسبق الإجهاد والتجهيز الأمر الذى يضع تحت تصرف المعمارى وحدات جاهزة سهلة النقل محددة
الأبعاد من الأسقف القشرية تصلح لأكثر عدد ممكن من الاحتياجات . فالقباب القشرية الجاهزة دائرية
أو مربعة القاعدة يخف وزنها وتزداد قوة بالإجهاد اللاحق لحلقات الشد المحيطة بقاعدتها .
كما ظهرت في بولندا عام ١٩٥٨ تطبيقات عملية رائدة لأسقف مصانع على شكل قبوات قشرية
طويلة مكونة من وحدات سابقة التجهيز مجمعة بالإجهاد اللاحق في مستوى السطح المنحنى (أشكال
من ٤٠٩ إلى ٤١٣) .

المؤشرات الإقليمية



أسهمت مراحل التقدم في المواد وطرق الإنشاء والتصميم تدريجياً في إرساء أسس ثابتة للخرسانة المسلحة كمادة إنشائية رئيسية في أنحاء مختلفة من العالم . فوادها الخام من ركام متفاوت الأحجام ورمال وأسمنت ومياه وحديد تسليح متوافرة في مختلف بقاع الأرض وبكميات لا تنضب . كما أنها لا تتطلب مستوى عالياً من العمالة، مما جعلها الحل الأمثل لمجابهة الاحتياجات المتزايدة للفراغات المعمارية . ومع ذلك فقد تداخلت في كل إقليم — حسب طبيعته — عدة عوامل شكلت ما يصح أن نلقبه باتجاهات أو صور إقليمية لعمارة الخرسانة المسلحة .

عوامل المناخ :

للإنشاء بالخرسانة المسلحة حساسية للأحوال المناخية المحيطة . ولذا فإن إنشاءها وطرق معالجتها تتأثر بتغير هذه الأحوال من إقليم لآخر . ومن المسلم به أن السطح الخرساني المكشوف يتأثر بعوامل الصقيع في الأجواء الباردة ويتعرض للتقشرات المشوهة للسطح . ومن الطبيعي ألا تترك مثل هذه الأسطح مكشوفة في الأجواء الباردة . غير أنه في جميع ظروف المناخ يوجد من المماريين المخلصين لطبيعة المادة وطرق الإنشاء من يكون على استعداد لتكبد المشاق لمعالجة الأسطح الخرسانية ليحصل في النهاية على سطح معماري تظهر فيه المادة الإنشائية عارية على السطح . وبالنسبة هؤلاء تعتبر الظروف المحلية الاقتصادية ومستوى العمالة المحلية أداتين للعمارة الجيدة وليست حدوداً لها . ففي البلاد الاسكندنافية الباردة وفي المناخ المداري في البحر الكاريبي ، كشف المماريون الأسطح الخرسانية لأسباب جمالية . وقد أثبتت تجاربهم أن التصميم والتنفيذ السليم للخلطات الخرسانية ينتج خرسانة مسلحة تتحمل أسطحها تفاوتاً كبيراً في الطقس . ورغم ذلك ، ولبواعث جمالية مبنية على فلسفات أخرى ، وتساندها عوامل اقتصادية ، يلجأ معماريون آخرون إلى تغطية الأسطح الخرسانية لمبانيهم بكسوة خارجية لحمايتها . مثل هذه المعالجة تسمح باستخدام مستوى أقل من الخلطات الخرسانية والعمالة .

والقشور التي تعثرى الأسطح الخرسانية تعتبر من العيوب التي تعترض سبيل استخدامها مكشوفة في المناطق الباردة . وسيساعد اكتشاف الأسمتات والمواد المضافة المولدة للهواء المحبوس (Air-entraining cements & admixtures) على زيادة استعمال مثل هذه الأسطح . ومع ذلك فسيبقى الاتجاه نحو تغطية الأسطح الخرسانية الخارجية بأخرى أقلر على التحمل مثل الطوب أو الألواح المعدنية . وينتشر تدريجياً رش الأسطح الخرسانية بالبلاستيك في المناطق الشرقية للولايات المتحدة .

ويعتبر استعمال الأسطح المكشوفة للخرسانة المسلحة أوسع انتشاراً وأقل عرضة للتلف في المناطق ذات المناخ الدافئ أو المداري . وفي هذه الحالة يلزم توفير درجة كافية من العزل الحراري للأسطح الخرسانية .

وقد يتوافر ذلك باستعمال الخرسانة المسامية الخفيفة والحوائط والأسقف المزدوجة ذات العازل الداخلي .
وفي المناطق الجنوبية والغربية للولايات المتحدة يحقق الدهان أو البياض العزل الجوى اللازم ، وينطبق نفس الوضع على معظم بلدان البحر المتوسط وأمريكا اللاتينية^(١) . غير أن الحالة تختلف في المواقع ذات الجو الرطب كما في المدن الساحلية كبريدى جانير و بالبرازيل فإن أسطح البياض أو الدهانات غير مرضية . وهناك انتشار استعمال أسطح صلبة للتكسية من الموزايكو أو من الزجاج المستورد من إيطاليا أو من البلاطات المدهونة المزججة أزوليخوس (Azulejos) * وقد أصبح استخدام مثل هذه البلاطات من خصائص عمارة الخرسانة المسلحة في البرازيل ، وتعد الدهانات والبياض والبلاطات المزججة فرصة لإضفاء الألوان على المباني حيث يسبب اللون الأبيض أو الألوان الشديدة بالبياض توهجاً مؤلماً تحت ضوء شمس المناطق المدارية .

وقد أدت الحاجة إلى الحماية من حرارة الشمس إلى ظهور لغة معمارية غنية بالظل والنور في عمارة المناطق المدارية ، وذلك بتطوير واسع لوسائل حجب الشمس في زواياها المختلفة . وقد أصبحت الحواجز الشمسية التي أعطاها لوكوربوزيه لغة معمارية في مبنى وزارة التربية والتعليم بريدى جانير و ، وكذلك التشابيك المصنوعة من الفخار أو الخرسانة السابقة التجهيز ، مظهراً مميزاً لعمارة المناطق ذات المناخ المداري (شكلي ٥١٢ ، ٥١٣) . وفي السنوات الأخيرة أصبحت هذه الوحدات بأشكال وصور مختلفة من المظاهر الزخرفية الشائعة للعمارة في وسط أمريكا وجنوبها وفي أفريقيا وآسيا .

العوامل الاقتصادية : يرجع تفاوت مستويات التقدم والانتشار للإنشاء الخرساني في البلاد المختلفة إلى أسباب اقتصادية . وقد ظهرت الخرسانة المسلحة وتطورت منافسة للمواد الإنشائية العريقة في القدم كالأحجار والطوب والخشب ، والمواد الحديثة كالحديد الزهر والمطاوع والصلب . فالأحجار والطوب والأخشاب طال استعمالها وازدادت المعرفة والدراسة بها على مر العصور . أما الحديد الزهر فقد سبق الخرسانة المسلحة بحوالى قرن . رغم ذلك فقد وضحت مزاياها مع أنها لم تنل في مهدها عندما ظهرت كبديل لهذه المواد . وقد كملت المحاولات لتدعيم مركز الخرسانة المسلحة بالنجاح ، وخاصة في أوروبا ، لاستطاعتها تأدية نفس الدور الإنشائي للصلب تحت أغلب ظروف التحميل مع احتمالها للحريق مدة أطول . تلك هي الخاصية التي استغلها وأكدها البناؤون الأوائل بالخرسانة في أوروبا وأمريكا . وفي المنافسة الاقتصادية بين المادتين تأكدت لصالح الخرسانة المسلحة ميزة أخرى وهي قلة نفقات صيانتها بمقارنتها بالصلب . ورغم ذلك

* هذا الاستعمال إحياء لتقاليد إسبانية .

فإن التكاليف الأساسية للمخرسانة المسلحة هي العامل الأساسي في تباين شيوعها واختلاف طرق إنشائها في البقاع المختلفة في العالم .

والأسس الاقتصادية للإنشاء بالمخرسانة المسلحة تشمل ركنين رئيسيين : الأول توافر المواد الخام وتكاليفها ، والثاني تكاليف العمالة الداخلة في التصنيع والإنشاء ، وخاصة العمالة الماهرة اللازمة لعمل الشدات المعقدة ورص الحديد وصب الخرسانة . وهنا تبرز أهمية الأحوال الاجتماعية والاقتصادية المحلية ومدى تأثيرها في انتشار الإنشاء الخرساني ، وبالتالي تأثيرها على الصورة التي تشكل عليها هذا الإنشاء والاتجاه العام الذي يتطور نحوه في الأعوام المقبلة .

ففي البلدان المتقدمة ذات الإنتاج الوفير من الصلب وذات المستوى العالي من المعيشة المادية كأمریکا وإنجلترا ، نجد أن الصلب الإنشائي يستعمل في أغلب المشروعات الإنشائية نظراً لتوافره أولاً ، ولخصوه لسبق التصنيع ، ولما يتطلبه من نسبة ضئيلة من العمالة على الموقع . كما ساعد انتشار الأخشاب والطوب في الولايات المتحدة على انتشارها في ميدان إنشاء المساكن الخاصة ، وهي الغالبية بين الوحدات السكنية في أمريكا ، وفي إنشاء المباني التعليمية .

وقد ازداد معدل ارتفاع أسعار المواد والعمالة وتكاليف المباني عامة في أغلب دول العالم بعد الحرب العالمية الثانية ، وقد أوردنا في (شكل ٢١١) معدلات الزيادة في الولايات المتحدة والجمهورية العربية المتحدة كممثلين للدول المتقدمة والدول النامية . وبالنسبة للولايات المتحدة نجد أن أجور العمالة على الموقع قد ارتفعت بمعدل أسرع من معدل ارتفاع أسعار المواد . وقد كان لهذه الظاهرة أثران هامان : أولهما اتجاه الإنشائيين إلى التقليل من العمل اليدوي في الإنشاء والتشطيب* والاتجاه إلى حذف الزخارف ، وثانيهما ازدياد استعمال المواد المصنوعة في المصانع الجاهزة للتركيب مباشرة على الموقع . هذه الظاهرة إذا ما أضيفت إلى الظواهر السابقة ساعدت على بقاء معدل انتشار الإنشاء الخرساني في أمريكا فيما عدا استعماله في أعمال الرصف والأعمال المائية . وفي هذه الاستعمالات القليلة نجد أن الاتجاه الأمريكي نحو تقليل ساعات العمل واضح حتى وإن كانت النتيجة زيادة في المواد أو تضحية من الناحية الجمالية . هذا الاتجاه عبر عنه المهندس الأمريكي هيل (G. Hill) في مرحلة مبكرة (عام ١٩٠٢) بقوله :

* يظهر (شكل ٢١١) أن معدل الارتفاع في تكاليف رصف الطرق أقل بكثير من معدل الارتفاع في تكاليف المباني ، وذلك نظراً لتطوير معدات الرصف والتسوية الميكانيكية على نطاق واسع .

« في كل الأعمال التي تقام في أمريكا نجد أنه من الضروري ، إما استعمال أرخص العمالة وإما استخدام عمال مهرة بطريقة تضمن تأديتهم لكميات أكبر من الإنتاج بالنسبة للعمال الأوربي في كل الحالات » (٢) .

والتطبيقات الأمريكية بالخرسانة المسلحة ، كنتيجة لهذا الاتجاه ، لم تكن جريئة كبعض الأمثلة الأوربية (٣) . والقطاعات الرفيعة ذات الميزة الاقتصادية في أوربا تكون في بعض الأحيان غير مأمونة العواقب إذا ما نفذت بساعات عمل أقل في الولايات المتحدة . وقد عبر نفس المهندس الأمريكي عن هذا بقوله :

« في أي تصميم إنشائي هندسي يفضل بدون شك التصميم الذي لا تشكل العيوب الطفيفة في التنفيذ خطورة على سلامة المنشأ ، ولهذا السبب لا نجد إلا عدداً قليلاً من المهندسين الأمريكيين يتبع نفس الاتجاه الذي اتبعه كثير من المهندسين الأوربيين في تصميمهم « للكبارى » ذات السمك الرقيق عند قمة العقد بحيث إن وعاء واحداً من خرسانة معيبة قد يعرض سلامة المنشأ كله للخطر » (٤) .

غير أنه نتيجة لارتفاع أسعار الصلب الإنشائي أثناء وبعد الحرب العالمية الثانية والحرب الكورية وجدت الخرسانة المسلحة — وخاصة في الأجزاء الغربية والجنوبية من الولايات المتحدة — ميداناً أفضل للتنافس . وقد تحسن موقفها بالنسبة للصلب الإنشائي نتيجة للمزايا الاقتصادية التي صاحبت التطورات الحديثة في الإنشاء القشري وسبق الإجهاد . وقد أجرت شركة أمان وويتني عام ١٩٤٩ مناقصات مقارنة على أسقف من الصلب غير محمية من الحريق ، وأخرى من الصدفات القشرية ، لإنشاء سقف مفرد الانحناء ذي بحر قدره ٢٨٦ قدماً لقاعة اجتماعات لمدينة مونتجمري بألباما . وقد بلغت قيمة السقف الصلب ٥٩٩,٠٠٠ دولار ، في حين بلغت قيمة السقف الخرساني ٥٧٧,٠٠٠ دولار . وكانت مدة التنفيذ ٥٠٠ يوم للخرسانة بجانب ٧٣٠ يوماً للصلب (٥) أي بوفر وقت قدره ٥٠٪ . هذا المثل يفسر لنا بوضوح أسباب الاتجاه الحديث نحو الإنشاء الخرساني للبحور الواسعة في حظائر الطائرات والمسارح والساحات ومحطات الوصول الجوية . وقد تم إنشاء عدد كبير منها ، أو هو تحت الإنشاء .

وفي الأحوال الاقتصادية والاجتماعية المتقدمة في دول أوربا وأمريكا يتجه التطور بالإنشاء الخرساني نحو سبق التجهيز حيث تؤيده نتائج اقتصادية محققة وخصوصاً على النطاق الواسع للإنشاء . فسبق التجهيز يحول الغالبية العظمى للعمالة من الموقع إلى المصانع حيث تخضع للرقابة والتنظيم الصناعي الذي

يكفل زيادة الإنتاج . وتبعاً لإحصاء أمريكي (انظر الجدول التالي) نرى أن متوسط أجر عامل الخرسانة في المصنع حوالي ٦٨٪ من أجر العامل بشركات المقاولات على الموقع . وتعتبر أجور عمال الخرسانة المهرة كالحدادين والنجارين أعلى أجور بين عمال الإنشاء عموماً .

لأجر الإجمالي لعمال الإنتاج في الولايات المتحدة *

من ١٩٥٠ - ١٩٥٢

متوسط الأجر الأسبوعي بالدولار			متوسط ساعات العمل الأسبوعية			متوسط أجر الساعة بالدولار		
١٩٥٢	١٩٥١	١٩٥٠	١٩٥٢	١٩٥١	١٩٥٠	١٩٥٢	١٩٥١	١٩٥٠
٨٨,٠١	٨١,٤٨	٧٣,٧٣	٣٨,١	٣٧,٢	٣٦,٣	٢,٣١	٢,١٩	٢,٠٣١
عمال شركات الإنشاء								
٧٠,٦٥	٦٨,٢٥	٦٢,٦٤	٤٥,٠	٤٥,٢	٤٥,٠	١,٥٧	١,٥٠	١,٣٩٢
عمال مصانع الخرسانة والجبس والمصيص								

هذه الأجور الأقل لعمال المصانع التي يصاحبها وفر واضح في ساعات العمل ، لكميات إنتاج مماثلة ، نتيجة لتطبيق نظام خطوط الإنتاج ، يساعد على خفض تكاليف العمالة اللازمة لإنتاج الوحدات الخرسانية . وقد وردت تقارير من الولايات المتحدة وكندا تؤيد ذلك . فمن كندا يقرر مقاول مسرح نيوافينيو (New Avenue) في مدينة ادمونتون البرتا (Edmonton Alberta) أن وفراً يقدر بنسبة ٥٢٪ قد حدث نتيجة لاستعماله هياكل سابقة الصب ذات بحر ١١ قدماً و ٥ بوصات بواجهة المبني^(٦) ، كما قرر أن وفراً قدره ٦٩٪ في العمالة وكميات الأخشاب اللازمة للشدات الخاصة بالهياكل سابقة الصب غير المحملة استاتيكيًا (Statically indeterminate) والمستعملة في سقف المسرح ذاته . هذا الوفير يجب إنقاظه إلى ٥٠٪ إذا وضعنا في الحساب زيادة التكاليف في القواعد الخاصة بأساسات الأعمدة^(٧) . كما أثبتت البحوث التي قام بها روجر ستار وبنتر (Roger Starr & Pinter) المقاولان لمدرسة ابتدائية لمدينة نيويورك قبل إنشائها أن سبق الصب لعشر كميات بطول ٥٨ قدماً ، وثمان كميات بطول ٥٢ قدماً ، يحقق وفراً قدره ٣٠٪ عن مثيلاتها المصبوبة على الموقع^(٨) . ومع هذا الوفير الملحوظ في سبق التجهيز فإن الملاحظ أن سبق التجهيز

* المصدر : (Stastical Abstract : 1959) صفحة ٢١٦ جدول رقم ٢٣٣ .

الكامل للمجموعات السكنية أقل انتشاراً في الولايات المتحدة عنه في جميع أجزاء أوروبا والاتحاد السوفيتي ، إلا أن التجارب في أمريكا في هذا السبيل قائمة على قدم وساق . وهنا نجد أن عاملاً هاماً يتدخل لعرقلة هذه المجهودات نحو نشر سبق التجهيز في المصنع ، وهذا العامل هو تأثير نقابات عمال البناء الأمريكية القوية ضد انتشار استعمال الوحدات الجاهزة بمختلف أنواعها . غير أن هذا لم يوقف بعض الاتجاهات نحو سبق التجهيز الجزئي لكمرات خرسانية مع غمل اللحامات بوصلات الصلب ، ولبلاطات سابقة الصب على الموقع أو في مواقع قريبة تسمح بذلك . كما انتشر في الولايات المتحدة استعمال الوحدات الجاهزة السابقة الجهد للإمكانات التي تتيحها في البحور الواسعة بالأعماق المحددة . كما انتشر استعمال الإجهاد اللاحق في ربط الوحدات السابقة الصب من هياكل وأعمدة وكمرات . كذلك ظهرت وتطورت في الولايات المتحدة الشدات الزاحقة أو القافزة للأبراج السكنية والمكتبية العالية ، وهي الطرق السابق بيانها لإنشاء القالب الذي يحتوي على الخدمات وعناصر التوزيع ، كما ظهرت طرق البلاطات والقباب المرفوعة ، وأغلبها طرق لا تلغى العمالة على الموقع ، بل تضمن زيادة إنتاجها وتحسين إدارة العمليات . ومن مظاهر التطور الأمريكي اتجاه الخلط الخرساني نحو سبق التجهيز . فنسبة عالية من الخرسانة المستعملة في العمليات الإنشائية تورد إلى الموقع جاهزة للصب في الحالة والميعاد المطلوبين .

أما بالنسبة لأوروبا الغربية فقد تعرضت مناطق كثيرة منها بعد الحرب العالمية الثانية لنقص في العمالة وبالذات العمالة الماهرة . ومن الطبيعي أن يتطور الإنشاء الحديث لسد هذا النقص . وقد كانت فرنسا ، التي عانت من هذا النقص منذ سنة ١٩٤٥ ، أول دولة في أوروبا تطبق طرق سبق التجهيز بالخرسانة وتلتها في هذا الاتجاه ألمانيا والدول الإسكندنافية . وقد كانت ظروف الطقس القاسية بالنسبة للدول الشمالية حافزاً أقوى نحو هذا التطور . وعلى العكس كان التطور حديثاً وبسرعة أقل بالنسبة للدول التي لم تعان نقصاً في العمالة كإيطاليا وإسبانيا ، ولدى محدود إنجلترا .

وكنتيجة للظروف الاقتصادية السابقة انتشرت في أوروبا الغربية طرق عديدة لسبق التجهيز الخرساني الثقيل لبانوهات كبيرة للحوائط والأسقف على مقاسات من أجزاء من غرفة أو بمقاسات غرفة أو غرفتين كاملتين . كما صنعت بالكامل قلبات السلالم ووحدات التخزين والصرف والخدمة من حمام وتواليت ومطبخ ، كما في طريقة هارت (Heart) في السويد . إلا أن مزايا سبق التجهيز الكامل لغرف كاملة لم تتضح بعد للشركات الغربية ، كما هو الشأن في أوروبا الشرقية . وسبق التجهيز كما شرحت تفصيلاته بالفصل الثالث يتم في أوروبا الغربية على اتجاهين :

الاتجاه الأول : وهو الأكثر انتشاراً، هو أن تخصص شركات كبيرة في صنع كل الوحدات المستعملة في مصانع متخصصة كما تقوم بتركيبها على الموقع . ففي فرنسا نجد شركات كثيرة على هذا النمط منها بوين (Boynes) وكوفيه وباريه واستيوت وكورنيه (Gorgnet) وكامو وغيرها . وفي السويد نجد طرق بولمورا (Bollmora) ولينج كوبنج وجوتنبرج (Gothenburg) وهارت وغيرها وفي الدنمارك لارسن ونيلسون (Larson & Nilson) وفي هولندا طرق قام (Vam) وب. م. ب. (B.M.B.) وشوك كونكريت (Shock Concrete) وروتينجهيوس (Rottinghuis) إلخ . وفي إنجلترا ظهرت طرق لينج (Laing) وانتر جرد وبيزون والبلاطات المرفوعة وربما وج - ٨٠ إلخ . وقد أنشأت بعض هذه الشركات فروعاً ووكلاء في هولندا وألمانيا وإيطاليا والنمسا وإنجلترا وإسبانيا . وتستعمل أغلب الطرق السابقة طريقة بانوهات الحوائط الفعالة ، ومن النادر استعمال طريقة الأعمدة والكميرات كما في طريقة كالتون Kallton في الدنمارك مثلاً . كما تشترك دول أوروبا الغربية في استعمال اللحامات المصبوبة على الموقع (Wet Joint) في حين تفضل الاتجاهات بروسيا ودول أوروبا الشرقية اللحامات الجافة .

والاتجاه الثاني وهو سبق التجهيز على الموقع وهو على صلة كبيرة بالاتجاه الأول . وقد تطور في فرنسا وسويسرا والسويد ويتوقف اختبار أى الاتجاهين على احتمالات الطلبات المستمرة على الإنتاج في منطقة معينة . والاتجاه الثاني مناسب لمشروعات المباني متوسطة الحجم بعدد أقل من مائتين وحدة في حين أن الإنتاج في المصانع المتخصصة يتطلب سوقاً تحتاج إلى مئات الوحدات سنوياً على الأقل لعدد من السنين^(٩) .

وقد انتشر الإنشاء الجرساني عامة في روسيا^(١٠) ودول أوروبا الشرقية وتدل على ذلك إحصاءات الزيادة الكبيرة في إنتاج الأسمنتات بين عامي ١٩٥٠ ، ١٩٦٠ . ففي روسيا ازداد إنتاج الأسمنت في هذه الفترة بنسبة ٤٤٦ ٪ ، وفي رومانيا - على سبيل المثال - بنسبة ٢٩٦ ٪^(١١) . كما أدى الاحتياج الشديد السريع إلى الإسكان بعد الحرب العالمية الثانية إلى الاتجاه بقوة وبطريقة فعالة مخططة إلى الطرق الصناعية في الإنشاء عامة ، وفي الإنشاء الجرساني على وجه خاص ، مع محاولات جادة لإنقاص وزن المباني وزيادة حجم الوحدات الجاهزة . وقد قامت صناعة جديدة في الاتحاد السوفيتي ، وهي تشمل أعداداً كبيرة من المصانع المتخصصة في بناء المساكن في أنحاء متفرقة من البلاد ، حتى أصبح سبق التجهيز هو الإنشاء السائد في المساكن والمصانع ، والصب على الموقع لحرسانة المباني العامة فقط . وقد صاحب ذلك استعمال مواد جديدة للعزل الصوتي والحاراري وعزل المياه ونهوا الأسطح .

ومنذ عام ١٩٥٠ حتى عام ١٩٦٠ ازداد إنتاج الوحدات الخرسانية الجاهزة في روسيا بنسبة ٢٤ مرة حتى بلغ في عام ١٩٦٠ - ٣٢ مليون متر مكعب . وقد وصل هذا الرقم إلى ٥٥ مليون متر مكعب سنة ١٩٦٥ . من هذا الإنتاج ١٤ مليون متر مكعب من وحدات خرسانية سابقة الإجهاد ، وتسعة ملايين ونصف مليون متر مكعب من بانوهات الحوائط ، وثلاثة ملايين ونصف مليون من وحدات خرسانة السليكات . كما حققت دول جمهوريات ألمانيا الديمقراطية وبولندا وتشيكوسلوفاكيا تقدماً مرموقاً في هذا المجال . ومن الطبيعي أن يصاحب هذا التقدم في تصنيع الخرسانة ازدياد في استعمال الخرسانة خفيفة الوزن التي تصنع من الركام المسامي (الخرسانة ذات الخلايا Cellular) مع تقدم صناعة الخرسانة الغازية عن طريق تطوير خرسانة السليكات^(١٢) . كذلك حدث تطور كبير في الركام الصناعي خفيف الوزن باستعمال الصخر المسامي والبقايا الصناعية وقد بلغ مجموع إنتاج الركام الصناعي خفيف الوزن في الاتحاد السوفيتي ودول أوروبا الشرقية عام ١٩٦٥ - ٢١,٢٤٠,٠٠٠ متر مكعب^(١٣) .

وفي المباني السكنية بالاتحاد السوفيتي حلت الخرسانة السابقة الصب تماماً محل الخشب والخرسانة المصبوبة في الموقع في الأسقف والسلام . كما تحل باطراد محل الأحجار وخرسانة الدقشوم في الأساسات الخرسانية . وقد بلغ مسطح الإنشاء الإسكاني بالوحدات الجاهزة كبيرة الحجم في الاتحاد السوفيتي عام ١٩٦٠ ثلاثة ملايين متر مسطح . كما بلغ ٢٥ مليون متر مسطح في إحصاء عام ١٩٦٥ . وفي هذا المجال يحتل الاتحاد السوفيتي المكان الأول في العالم . والاتجاه واضح نحو زيادة حجم البانوه السابق الصب ، فبين عامي ١٩٤٧ و ١٩٥٠ كان متوسط مسطح البانوه من ٢م^٢ إلى ٥م^٢ ، واليوم انتشر استعمال بانوهات بمسطح من ١٦م إلى ١٨م^٢ للحوائط الداخلية ومن ١٢م إلى ١٣م^٢ للحوائط الخارجية . وقد عرضنا سابقاً مراحل التطور الصناعي نحو تصنيع حجرات بأكملها ، ولو أنها ما زالت تحت الاختبار . هذا التطور سيسمح بانتقال نسبة كبيرة من العمل إلى المصانع . وقد أدى هذا التطور المتقدم نحو التصنيع إلى نقص ملحوظ في وزن الوحدات الإنشائية ووزن المنشأ بأكمله ، وبالتالي نقص في تكاليف النقل . كما أدى إلى وفر في العمالة وفي تكاليف ووقت الإنشاء ، وإلى ارتفاع في مستوى الخدمات في المباني ، وبالتالي نقص في تكاليف الصيانة .

والخرسانة المسلحة بالنسبة للدول النامية في أفريقيا وآسيا وأمريكا اللاتينية تعتبر من الناحية الاقتصادية المادة الإنشائية المثالية للاستعمال في الأسقف ، وبخاصة بالنسبة للمباني السكنية المتعددة

الأدوار والمباني الصناعية . وبعض هذه البلاد يعانى من نقص الأخشاب الإنشائية وأحجار البناء كما هو الشأن فى بلاد أمريكا اللاتينية . كما يعانى البعض الآخر نقصاً فى صناعة الصلب الإنشائى ، الأمر الذى يستوجب استيراده بأسعار باهظة . هذا بالإضافة إلى أن توافر الأيدى العاملة الرخيصة يجعل من الخرسانة المسلحة الحل المثالى المطلوب . وبالاتمرار فى استعمالها سيتم تدريب العمال المهرة من نجارين وحدادين للوصول بصناعتها للإتقان المطلوب . كما أن الحاجة إلى أسياخ التسليح بالإضافة إلى زيادة الإمكانيات الصناعية قد شجعت بعضاً من هذه الدول على قيام صناعة محلية لأسياخ التسليح . وقد بدأت مثل هذه الصناعة فى كثير من دول أمريكا اللاتينية وفى اليابان ، ومؤخراً فى دول الشرق الأوسط ومنها الجمهورية العربية المتحدة وتركيا .

وتتعرض مثل هذه البلدان لمناقشات وتباين فى الآراء بخصوص إدخال التصنيع فى الإنشاء الخرسانى . فالميزة المقرونة بسبق التجهيز وهى الوفرة التى يحققه فى العمالة على الموقع لاستيفاد منه البلاد النامية لانخفاض مستوى الأجور نتيجة لتوافر الأيدى العاملة . وهنا يجدر بنا أن ننبه إلى تطور واضح ملموس فى معدلات الزيادة فى الأجور فى الجمهورية العربية المتحدة كمثلة للدول النامية (شكل ٢١١) حيث نجد ارتفاعاً فى الأجور فى السنوات العشر الماضية يزيد عن ٣٥ ٪ وهو معدل يزيد كثيراً على الزيادة فى مواد البناء التى بلغت ٢٣ ٪ فى نفس الفترة . وهذا يعنى أن أى وفر فى الأيدى العاملة بزيادة الإنتاج عن طريق التصنيع سينتج عنه وفر كبير فى التكلفة النهائية للمشروعات الإنشائية .

كذلك تظهر اعتراضات على سبق التجهيز فى البلاد النامية لعدم توافقه مع مستوى الإمكانيات الصناعية المحلية . فسبق التجهيز بمعناه السائد لدى العامة وغير المتخصصين من المهندسين والمخططين يتطلب مصانع على درجة عالية من الكفاية موزعة توزيعاً جغرافياً لتخدم احتياجات ضخمة بوسائل مواصلات متطورة فى شوارع واسعة ممهدة . كما يتطلب على الموقع وسائل ميكانيكية من روافع ضخمة ذات حمولات كبيرة ترفع الوحدات الجاهزة الثقيلة وتجمعها فى مواضعها النهائية بواسطة عمال مهرة وتحت إشراف فنى وإدارى دقيق متطور . تحت هذا المعنى المحدود لسبق التجهيز الخرسانى يكون اعتراض الدول النامية على هذا التطور—على أساس أنه سابق لأوانه وغير ممكن عملياً وغير محقق لأغراضه الاقتصادية—اعتراضاً سليماً . ولكن من الواجب هنا أن يدرك المخططون أن هذه الدرجة من سبق التجهيز الثقيل تمثل مرحلة متقدمة قد لا تحتاج الدول النامية إليها فى حل مشكلاتها الإنشائية قبل بلوغها مرحلة متقدمة من التطور الصناعى . وهنا تجدر الإشارة إلى أن أغلب الدول النامية قد استعملت فعلاً وبكفاية اقتصادية سبق

التجهيز في أبسط مراحله على مستوى الطوبة والبلوكات الخرسانية بأنواعها المختلفة . وبين الطوبة وسبق التجهيز الكامل مراحل مختلفة يجب أن يتطرق إليها البحث ، ويجب أن تتجه إليها التجارب الحادة في هذه الدول للوصول إلى حلول سليمة وممكنة على طريق التصنيع الذي لامفر منه ولا مجال للتشكيك في فوائده المادية .

وهنا قد يتجه الباحثون إلى الوصول إلى طرق إنشائية لسبق التجهيز على الموقع وخاصة في حالة المجموعات السكنية الكبيرة ، مع استعمال وحدات صغيرة الحجم خفيفة الوزن في حدود إمكانيات الحمل اليدوي (١٠٠ كجم للوحدة) أو الحمل الميكانيكي الخفيف (٥٠٠ كجم للوحدة) . والبلوكات الخرسانية بأحجامها المختلفة الصغيرة والكبيرة والتي تبنى بها الحوائط في صفوف أفقية قد تحمل محل « بانوهات » الحوائط الجاهزة وما ينتج عنها من صعوبات الإقامة وما تتطلبه من معالجات للوصلات الرأسية . كما أن الأسقف التي تجمع بين سبق التجهيز والصب على الموقع والسابق شرحها في الفصل الثالث تهيئ حلاً سهلاً ميسوراً يحقق الوفرة المطلوب في الشدات الخشبية والاستمرار المادي الذي يميز الإنشاء الخرساني . ومن الواجب ألا ينسى الباحث أن سبق التجهيز يحقق وفراً لاشك فيه في كميات الخرسانة والحديد والأخشاب المستوردة اللازمة للشدّة . مثل هذا الوفرة تحتاج إليه البلاد النامية أكثر من غيرها لبناء اقتصادها القوي ، ويجب أن يكون عاملاً أساسياً في الاتجاه إلى سبق التجهيز : هذا بخلاف ما يحققه من وفرة نهائي قد تتدخل فيه عوامل أخرى من صعوبة النقل وندرة المهارات المتدربة على مثل هذا النوع من الأعمال ، وجميعها صعوبات تخف وتزول بعد الشروع العمل في التنفيذ وبعد بحث وتخطيط سليمين لأنسب الطرق وأصلحها للظروف المحلية :

وبازدياد تجربة الدول النامية بسبق التجهيز في مراحله الأولى تتكون المهارات الفنية والعمالية اللازمة للانتقال إلى مراحل سبق تجهيز وحدات أكبر حجماً . مثل هذه الخطوات نحو تصنيع الإنشاء الخرساني والمباني عامة هي الحل الأمثل نحو الوفرة في مواد البناء والعمالة وسرعة التنفيذ وجودته لمجابهة احتياجات متزايدة للفراغات المعمارية :

العوامل الاجتماعية : يتوقف انتشار الخرسانة المسلحة وتطورها في بلد من البلدان على عدة عوامل اجتماعية بجانب العوامل الاقتصادية الهامة السابق مناقشتها . فالقبول العام والحكومي والفني للمادة كان ولا يزال من ضمن هذه العوامل الاجتماعية المؤثرة في مدى انتشارها . فالاكتشافات الأولى التي قامت بها بعض الدول قد شجعتها على أن تجعل استمرار القيادة العملية في هذا المجال مسألة قومية . ففي فرنسا حيث

تمت مراحل متقدمة من التطبيقات الفنية والمعمارية للخرسانة المسلحة أصبحت المادة تقليداً قومياً وأصبح تقدمها بمختلف فروعها واجباً وطنياً . ومع أن دور البرازيل في تطور العمارة الحديثة عامة والخرسانة المسلحة خاصة قد ابتداء متأخراً فإن الدوائر العامة والمتخصصة قابلتها بتحمس شديد . وقد عين وزير التعليم البرازيلي جوستاف كوبانيا (Gustave Copanema) المهندس لوكوربوزييه مستشاراً للمستقط العام للمدينة الجامعية في ريو دي جانيرو . وقد عمل معه قادة المعمارين البرازيليين لوسيو كوستا (Lucio Costa) وأوسكار نيماير (Oscar Niemeyer) وأفرنسو ريدي (Affonso Reidy) . وقد أثر لوكوربوزييه على هذه المجموعة التي وضعت التصميمات النهائية لمبنى وزارة التعليم في ريو دي جانيرو . وفي هذا المبنى وضعت أسس العمارة البرازيلية الحديثة بالخرسانة المسلحة .

وقد كانت للتجارب الأولى الفاشلة للمباني الخرسانية في بعض البلدان، نتيجة للإهمال وعدم التجربة، أثر سلبي في اتجاهات الجمهور والمسؤولين نحو المادة الجديدة ، وبخاصة إذا وجدت مادة إنشائية بديلة . ومن الطبيعي أن تكون شركات إنتاج الصلب الإنشائي ومقاووه على قائمة المعارضين للإنشاء الخرساني ، كما انضمت إلى قائمة المعارضين نقابات عمال الصلب الذين يعتمدون عليه في معاشهم . مثل هذه المعارضات وجدت في إنجلترا في أوائل القرن العشرين بين أغلب المهندسين الاستشاريين والمكاتب الحكومية المتخصصة^(١٤) ولم تختلف الحالة عن ذلك في الولايات المتحدة ، الأمر الذي أدى إلى تأخر تطور الإنشاء الخرساني في هذين البلدين .

وللنواحي الاجتماعية دخل كبير في تباين تطور الإنشاء الخرساني نحو سبق التجهيز في مختلف بقاع العالم . فمن ناحية نجد أن الاحتياج العالمي السائد للمباني لسد النقص العام في الإسكان قد شجع التطور إلى تصنيع الإنشاء الخرساني لما يحققه ذلك من وفر في وقت الإنشاء كنتيجة لتوحيد الشكل والمقاسات ولسبق إعداد عناصر المبنى . ومن ناحية أخرى نجد أن التطور نحو التصنيع قابلته مشكلات اجتماعية متباينة . ففي الدول المتقدمة والتي سبق أن قامت فيها لعشرات السنين خبرات لإنشاء الخرساني على الموقع ، عارضت اتحادات العمال الإنشائيين مثل هذه الاتجاهات نحو التصنيع ، كما عارضها بعض المخططيين الاجتماعيين في الدول النامية على اعتبار أنها ستسبب تعطلا للعمال ، وفي هذا مشكلة اجتماعية كبيرة لبلاد تزيد فيها الأيدي العاملة على المطلوب . وقد ناقش المؤتمر الثاني للاتحاد الدولي للبناء (C.B.I.) والمنعقد في كامبردج عام ١٩٦٢ ، هذه المشكلات الاجتماعية التي تصاحب التقدم في المواد والطرق الصناعية . وبما قرره مستر ويثرفر (Weaver) — السكرتير العام للاتحاد القوي لنقابات عمال البناء

بإنجلترا — أنه لا مبرر لهذه المعارضة من جانب عمال البناء بسبب قدرتهم على التشكيل والعمل بعدة مواد وبعدة طرق ، فالعامل في البناء نجده يعمل بالبلاستيك وبالمعادن وبوحدات الخرسانة الجاهزة وبعدة مواد وماكينات مستحدثة . وقد لاحظ مسر ويقر اتجاه نقابة السباكين بإنجلترا بمحض إرادتها إلى إعطاء دروس في اللحام لأعضائها من السباكين . كما قرر أنه ظهر بوضوح في المؤتمر المنعقد في عام ١٩٥٩ للاتحاد العام لعمال البناء في إنجلترا أن أعضاء الاتحاد قادرون على مقابلة أى ظرف مستجد قد يقابلهم في صناعته ، وأنهم على ثقة بأنهم لن يعجزوا أمام أى مواد أو طرق صناعية جديدة . كما قرر أن معارضة النقابات العمالية لم تكن ضد التغيير نفسه بل ضد طريقة تقديمه . كما كرر ظنونه أنه حتى في أيامنا المتقدمة هذه فما زالت النظرة إلى العمال كوحدات للطاقة الميكانيكية تهمل في حالة اتخاذ أى قرارات صناعية ، حتى إذا كانت ذات تأثير حيوى في مستقبلهم . وهو على ثقة بأنه إذا اهتمت الإدارة العليا بمنح الثقة اللازمة بالمناقشة مباشرة مع العمال أو ممثليهم فإن أى معارضة أو توجسات قد توجد نتيجة لعدم المعرفة الكاملة بما تعنيه تماماً هذه التغييرات المصاحبة للتصنيع ستزول بالمصارحة الكاملة (١٥) .

أما بالنسبة للدول النامية فالإتجاه إلى التصنيع الخرساني يجب أن يكون بطبيعة الظروف الصناعية على مراحل متباعدة مبتدئا بالجمع بين سبق التجهيز على الموقع والخرسانة المصبوبة على الموقع إلى سبق التجهيز بالمصانع . ويتم في هذه المراحل تحويل المتوافر من العمالة على الموقع إلى المصانع ، سواء في الصناعات الإنشائية أو غيرها من الصناعات المتطورة ، مع ما يصاحب العمل في المصانع من استقرار في الأجر وساعات العمل والجو وامتيازات أفضل في العمل .

تمتع أوائل المستعملين للخرسانة المسلحة بحرية لا حدود لها في استخدامهم للمادة ، إذ لم تكن هناك مجموعات القوانين أو التنظيمات المقيدة لاستخدامها . ونتيجة لذلك تحققت مشروعات جريئة مثل عقود مونييه وكبارى مايار . ومن ناحية أخرى صاحبت هذه الحرية نتائج فاشلة امتلأت بها النشرات المتخصصة وغير المتخصصة ، وكان على السلطات أن تتدخل لسن اللوائح والقوانين لتنظيم استعمال الخرسانة المسلحة كمادة إنشائية . وهنا انعكست الاتجاهات الرسمية المتباينة نحو المادة على قوانينها المحلية . ومن هذه القوانين القانون الإنجليزي الخاص بالبناء داخل المدن لعام ١٩٠٥ الذى صيغ بحيث يجعل من المستحيل البناء بالخرسانة المسلحة بطريقة تحقق الاقتصاد المطلوب من مادة إنشائية كهذه (١٦) .

العوامل القانونية :

وقد تحسنت القوانين واللوائح الخاصة بالمادة ، ومع ذلك فما زال هناك تباين ملحوظ في قوانين البناء بالنسبة للدول المختلفة . فاعتماد الحمل الأقصى للتصميم في قوانين البرازيل والاتحاد السوفيتي سبق بمراحل القوانين الإنجليزية والأمريكية التي ما زالت تعمل بجهود التحميل . والجهود العليا للصلب والحرسانة مازالت تحدد على أساس أقل جودة للمواد وعلى أساس مستوى عمالة منخفض . كما تنص المواصفات على خلطات الحرسانة بالحجم وليس من حيث القوة ، وأقل نسبة للأسمنت . مثل هذه النظريات الخاطئة في القوانين تحد دائماً من الحوافز نحو التقدم الفني في استعمال المادة .

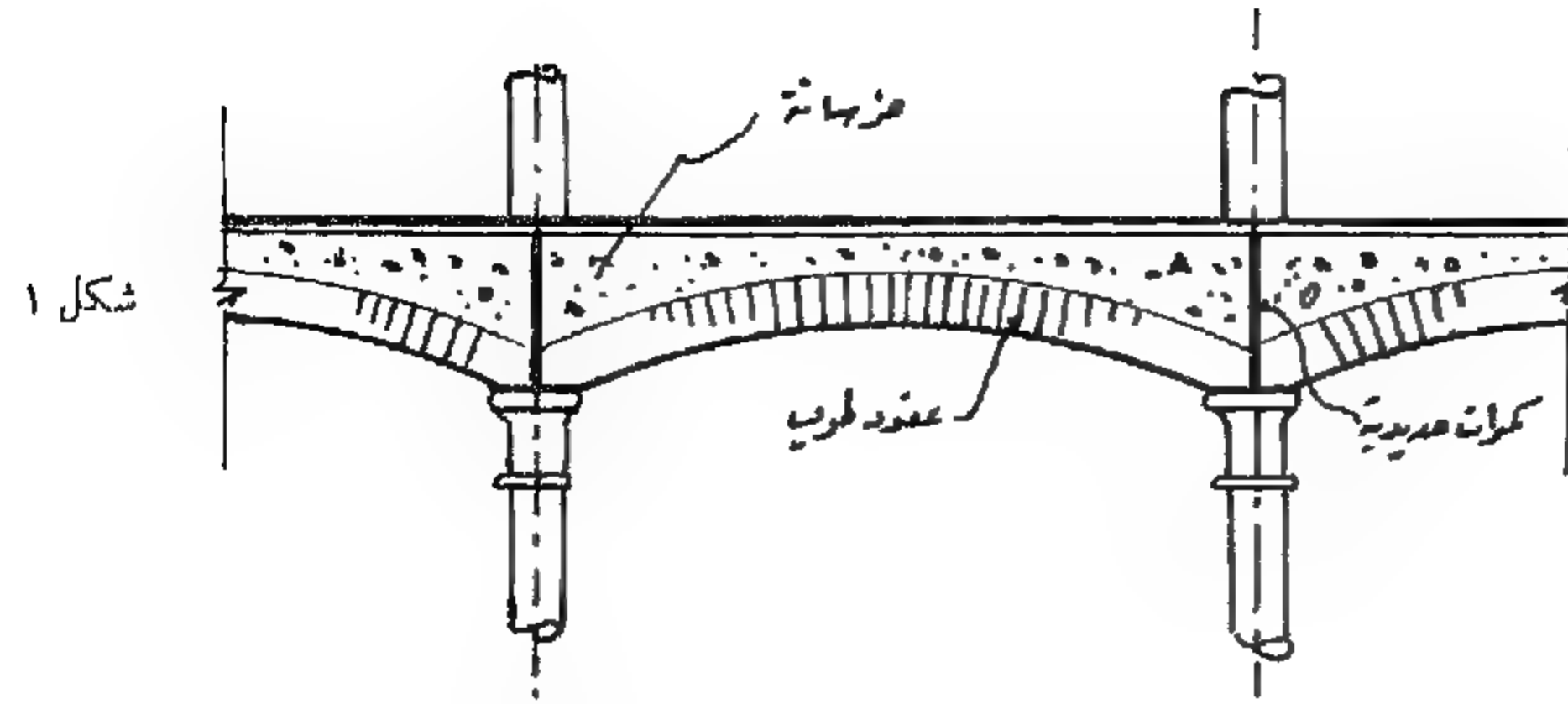
ويؤدي تعدد القوانين واللوائح من جزء إلى آخر في نفس البلد إلى بلبلة ليس فقط للجمهور بل للمتخصصين أيضاً . ولا توجد أسباب تحول دون توحيد القوانين المنظمة للعمل للقضاء على هذه الفوضى ، وقد قدمت الدراسات الإنشائية الإنجليزية رقم ٨ بعد الحرب التوصية التالية للمملكة المتحدة :

« أن يعد قانون جديد لتنظيم الإنشاء بالحرسانة المسلحة ، ومن الأفضل أن يكون على مستوى قومي وأن يضمن القانون حق التعديل مع نشر أي تعديل تتم الموافقة عليه » (١٧)

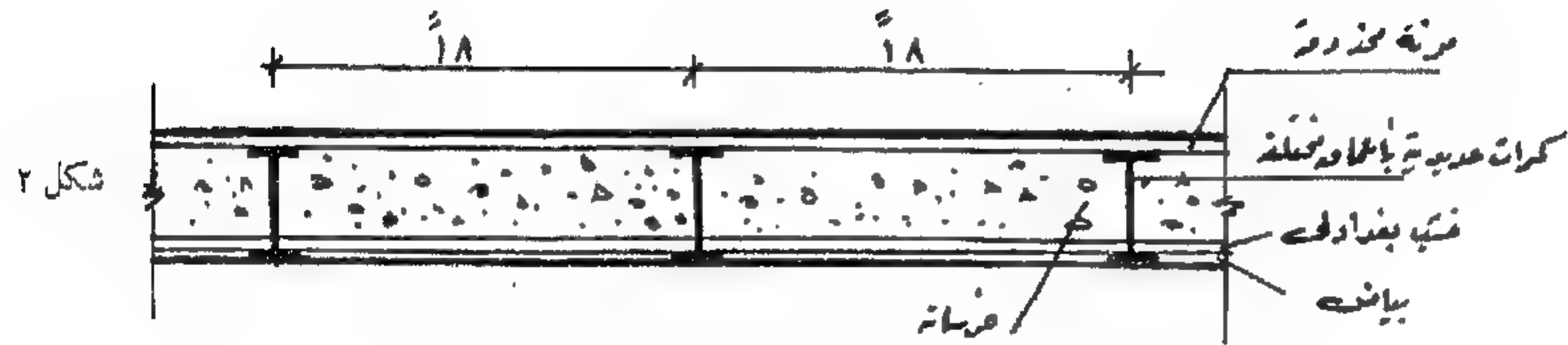
كما أوصت بأن « تتم مراجعة للقانون كل ثلاث سنوات كما تدمج فيه أي تعديلات حتى يتم تعميم استعمالها وأن يكون القانون ساري المفعول في جميع اتحاد المملكة المتحدة » (١٨) .

وبهذه المرونة التي تضمنها حق التعديل لن تصبح القوانين عقبة خطيرة في طريق التطور الإقليمي للحرسانة المسلحة .

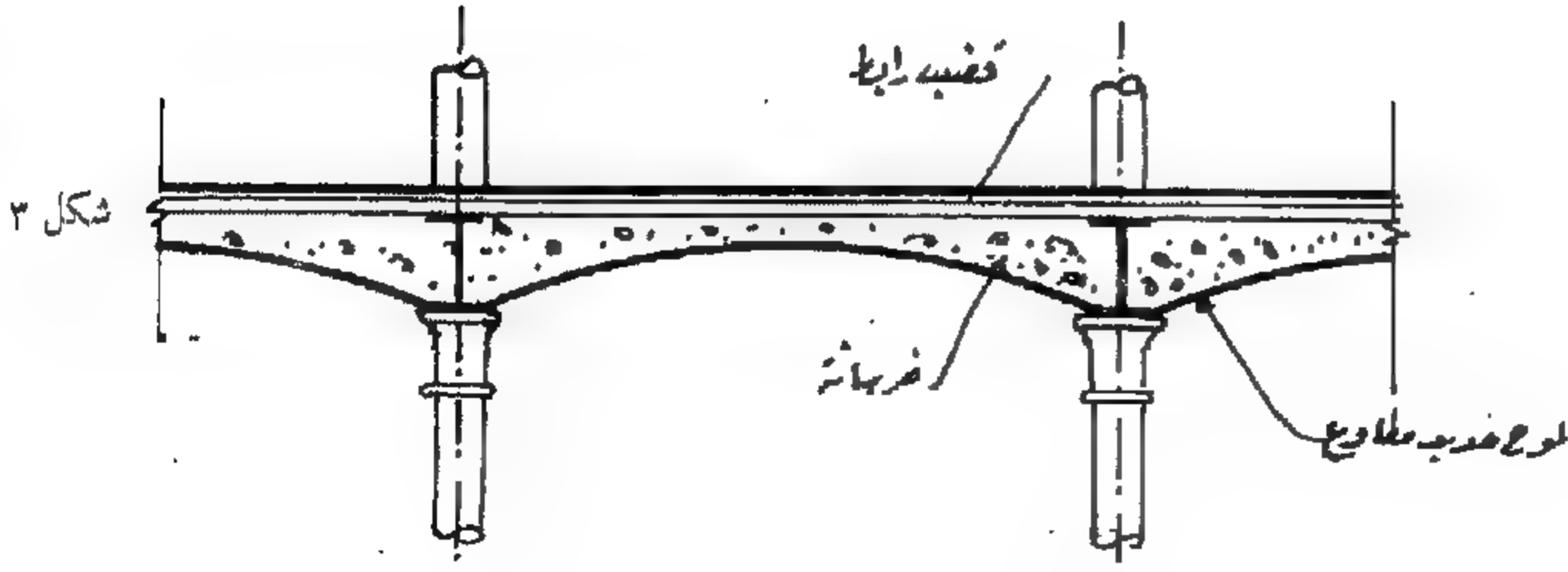
رسومات وصور
الجزء الأول



شكل ١



شكل ٢



شكل ٣

الحديد والخرسانة —




















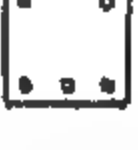




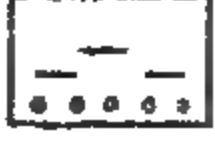

أمثلة أولى لاستعمالهما معاً

(شكل ١) كمرات بأعمدة حديدية بينها عقود من الطوب وخرسانة في مصنع قطن فيليب ولي في سالفورد بما نشتر — طريقة وات وبولتون عام ١٨٠١ .

(شكل ٢) استعمال الخرسانة كحشو بين كمرات حديدية — طريقة دكتور فوكس عام ١٨٢٩ .

(شكل ٣) كمرات حديد مطاوع بينها ألواح من الصاج في مصنع — المهندس وليام فيريرين عام ١٨٤٥ .

RESULTS OF EXPERIMENTS TO ASCERTAIN THE RESISTANCE TO A GRADUALLY
INCREASED BENDING STRAIN OF COMPOSITE BEAMS, RECEIVED FROM
THADDEUS HYATT LOAD APPLIED AT CENTRE.

K 5545		lbs 29,628 at 5ft span	K 5553		lbs 27,482 at 6ft span
K 5546		lbs 28,022 at 5ft. "	K 5553		lbs 26,392 at 6ft. "
K 5543		lbs 25,868 at 5ft. "	K 5556		lbs 25,174 at 6ft. "
K 5539		lbs 25,148 at 5ft. "	K 5552		lbs 23,468 at 6ft. "
K 5538		lbs 23,884 at 5ft. "	K 5554		lbs 22,172 at 6ft. "
K 5541		lbs 21,222 at 5ft. "	K 5551		lbs 21,238 at 6ft. "
K 5540		lbs 18,418 at 5ft. "	K 5557		lbs 17,018 at 6ft. "
K 5549		lbs 15,478 at 5ft. "	K 5544		lbs 8,192 at 5ft. "
K 5536		lbs 14,498 at 5ft. "	K 5537		lbs 1,484 at 5ft. "
K 5547		lbs 13,583 at 5ft. "	K 5559		lbs 13,512 at 6ft. "
K 5542		lbs 12,348 at 5ft. "	K 5560		lbs 11,983 at 6ft. "
K 5550		lbs 12,178 at 5ft. "	K 5558		lbs 10,513 at 6ft. "
K 5548		lbs 9,274 at 5ft. "	K 5561		lbs 9,034 at 6ft. "

اكتشافات هايات في الإنشاء المضاد
للحريق - أعمال التجارب
(شكل ٤) أنواع الكرات الخرسانية ومقاومتها
لأحمال متزايدة .

(Signed) DAVID KIRKALDY,

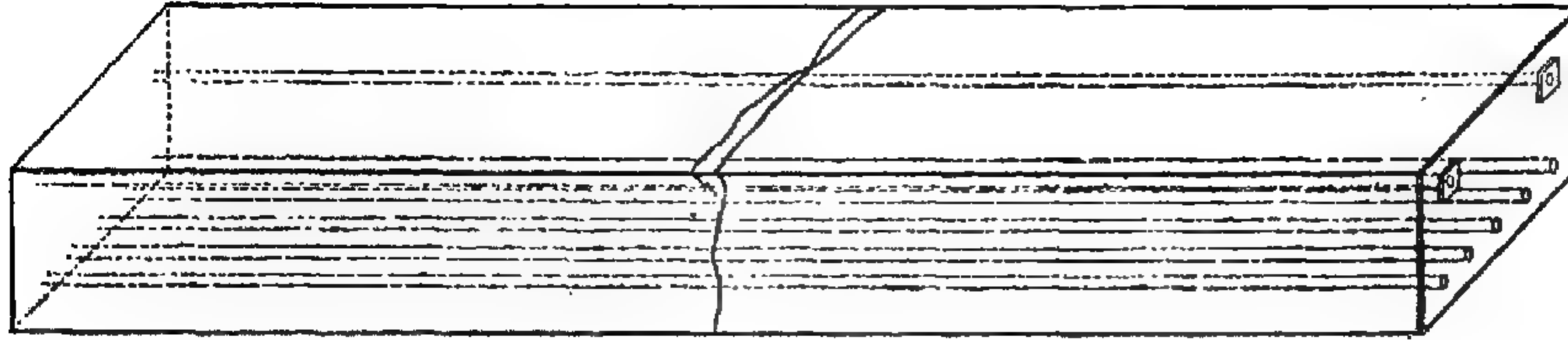
99, SOUTHWARK STREET, LONDON.

Feb. 26th, 1877.

شكل ٥

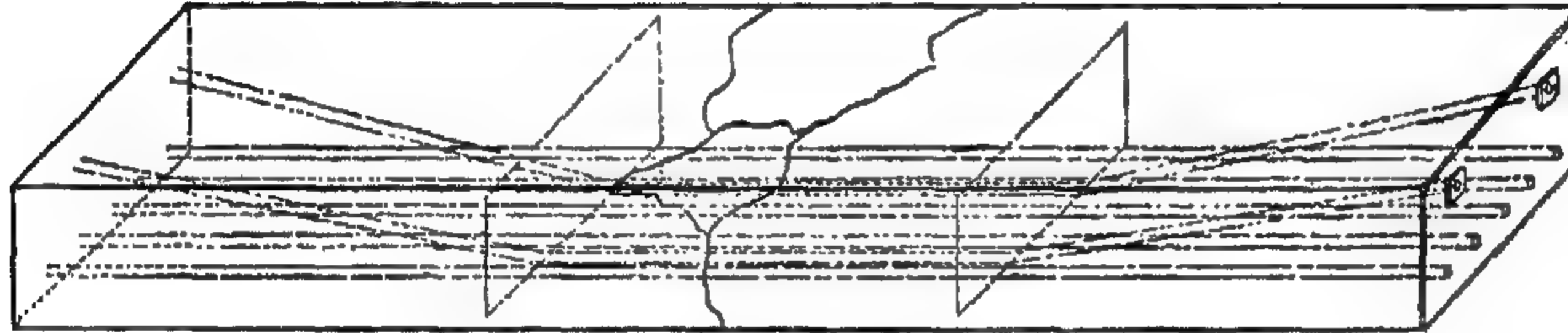
PLATE F.

No. 9.



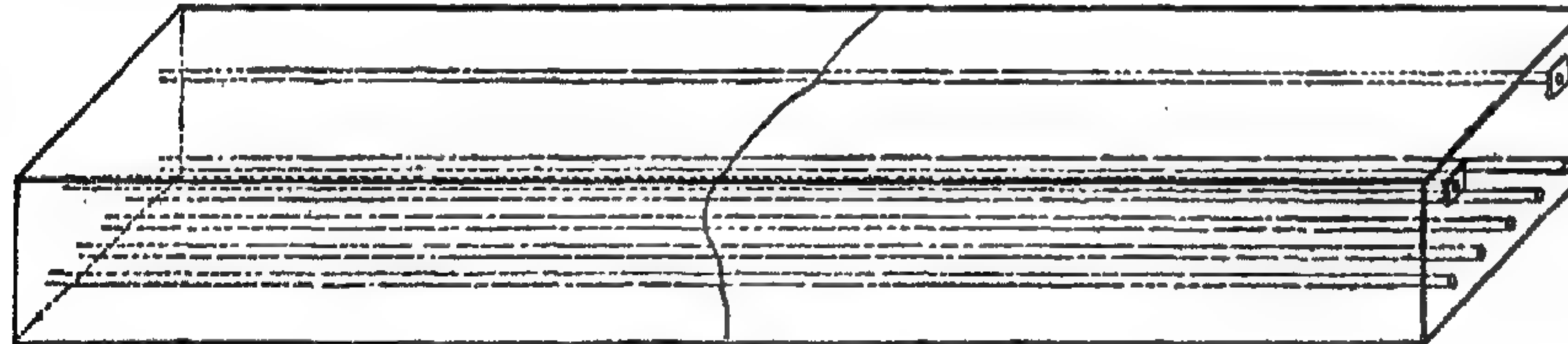
Kirkaldy's No. "K 5547." Plate A.

No. 10.



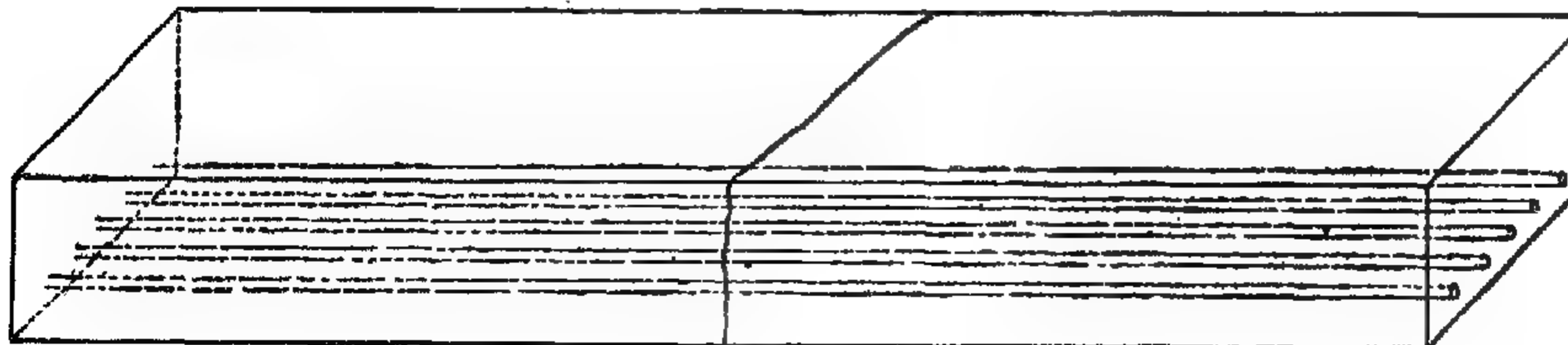
Kirk. No. "K 5549." Pl. A.

No. 11.



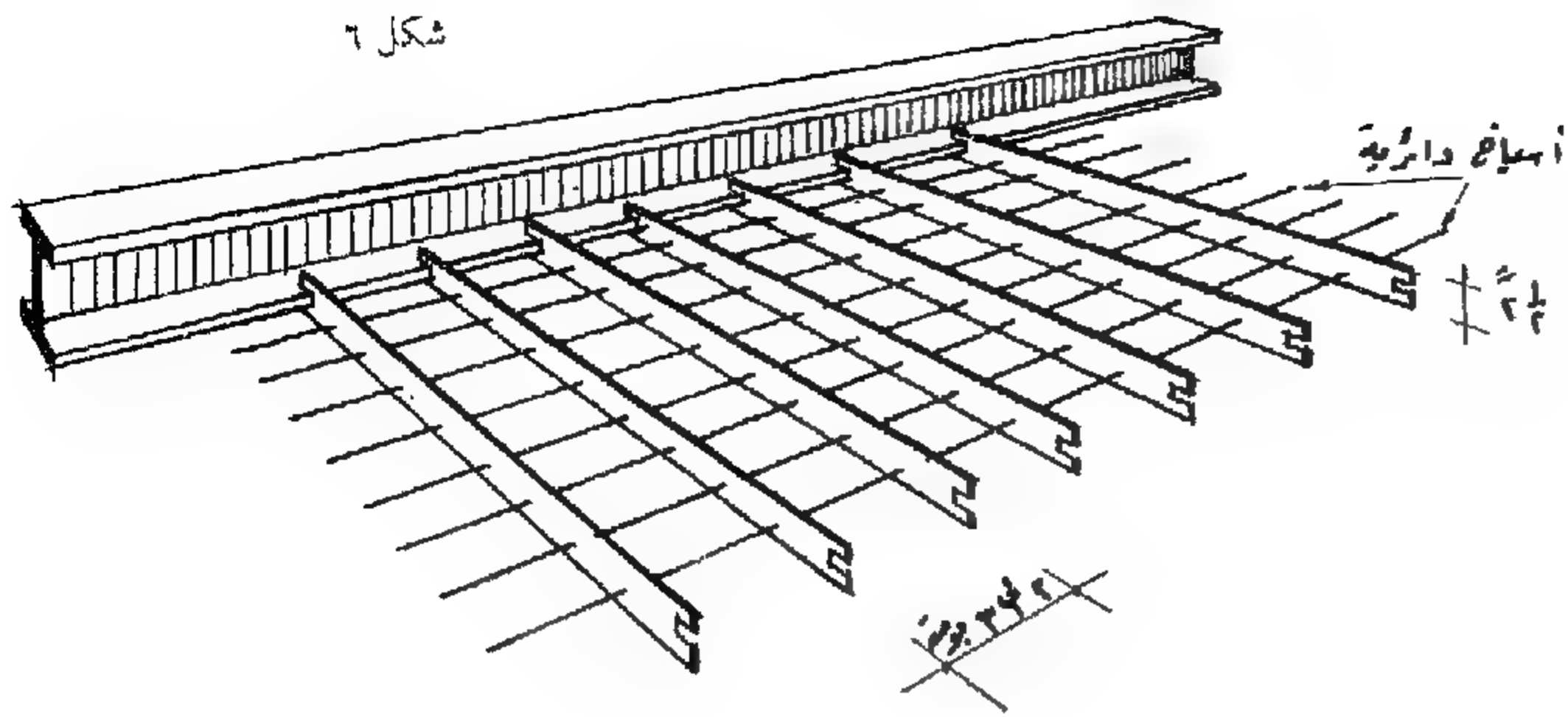
Kirk. No. "K 5550." Pl. A.

No. 12.



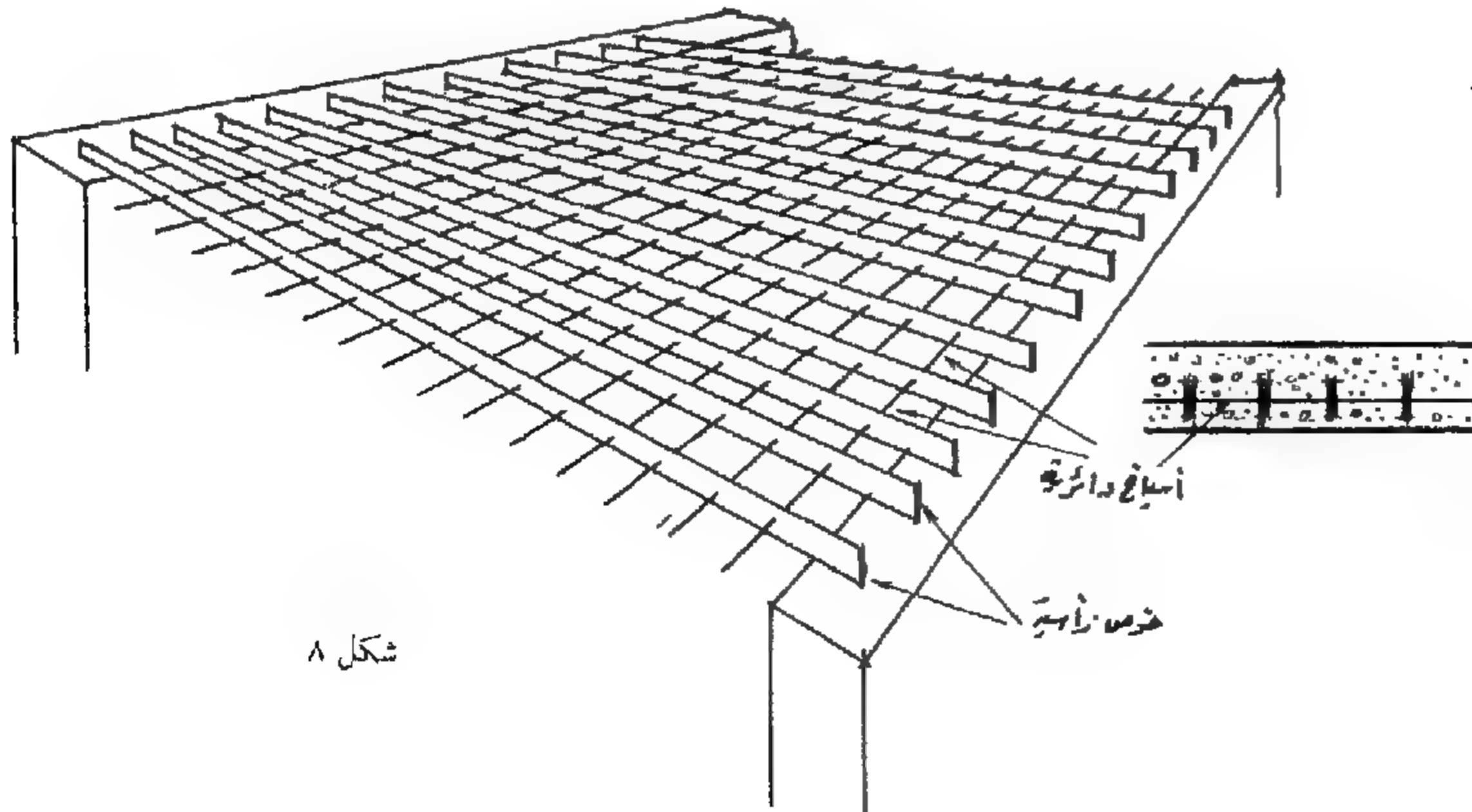
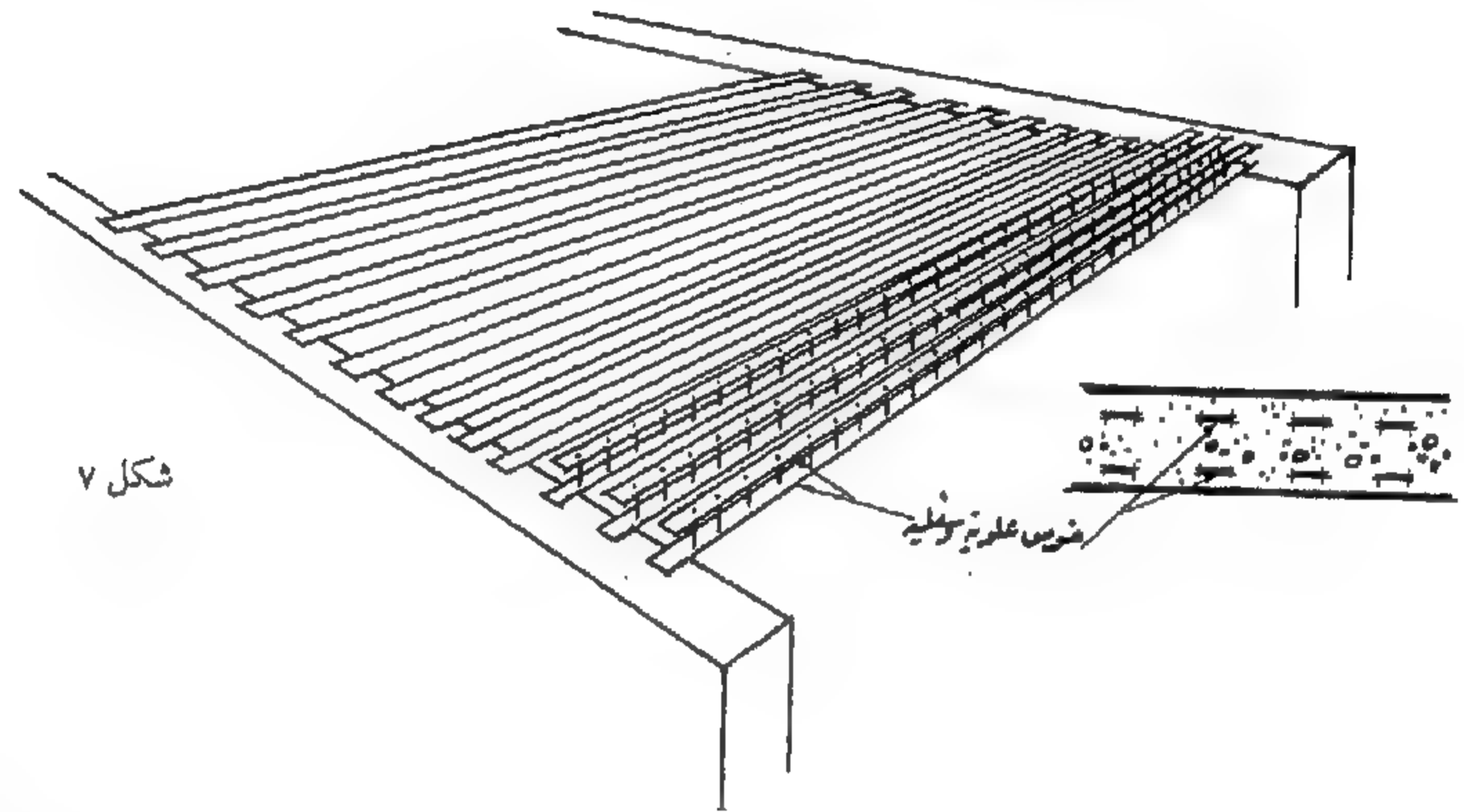
Kirk. No. "K 5548." Pl. A.

(شكل ٥) بعض كرات خرسانية مسلحة
بأسياخ حديدية دائرية علوية وسفلية ، وسفلية
فقط ، وسفلية مكسحة .



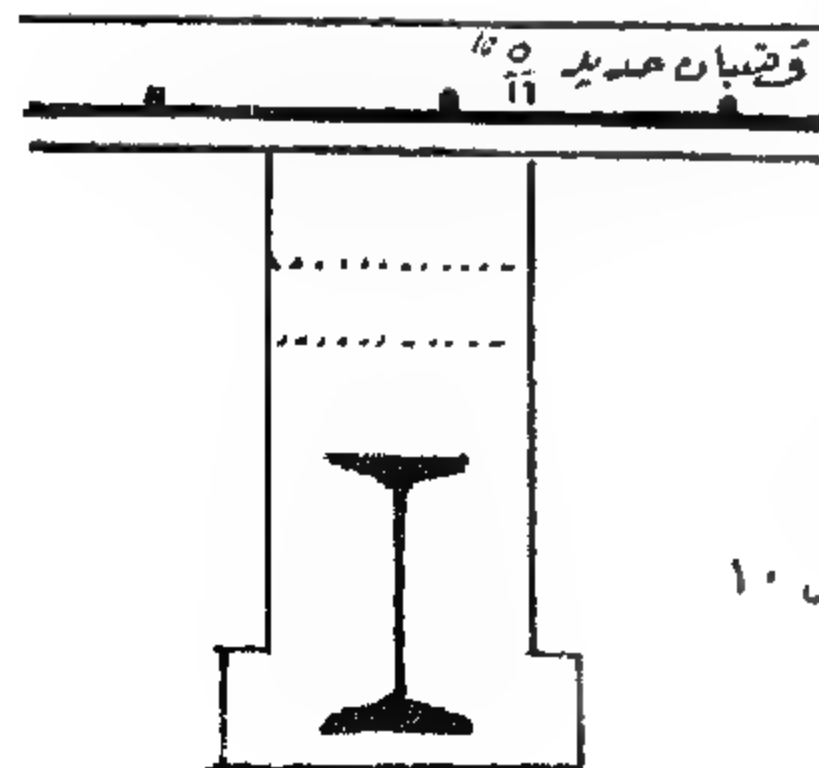
اكتشافات هياكل في بلاطات الخرسانة المسلحة

- (شكل ٦) مبنى على شارع فارينجدون بلندن -
 تفصيلة الكمرات والأسياخ الرابطة .
 (شكل ٧) الخوص العليا والسفلى للأحمال
 الثقيلة على البلاطات المحدودة العمق .
 (شكل ٨) خوص التسليح رأسية مع الأسياخ
 الرابطة للأحمال الخفيفة .





شكل ٩



شكل ١٠

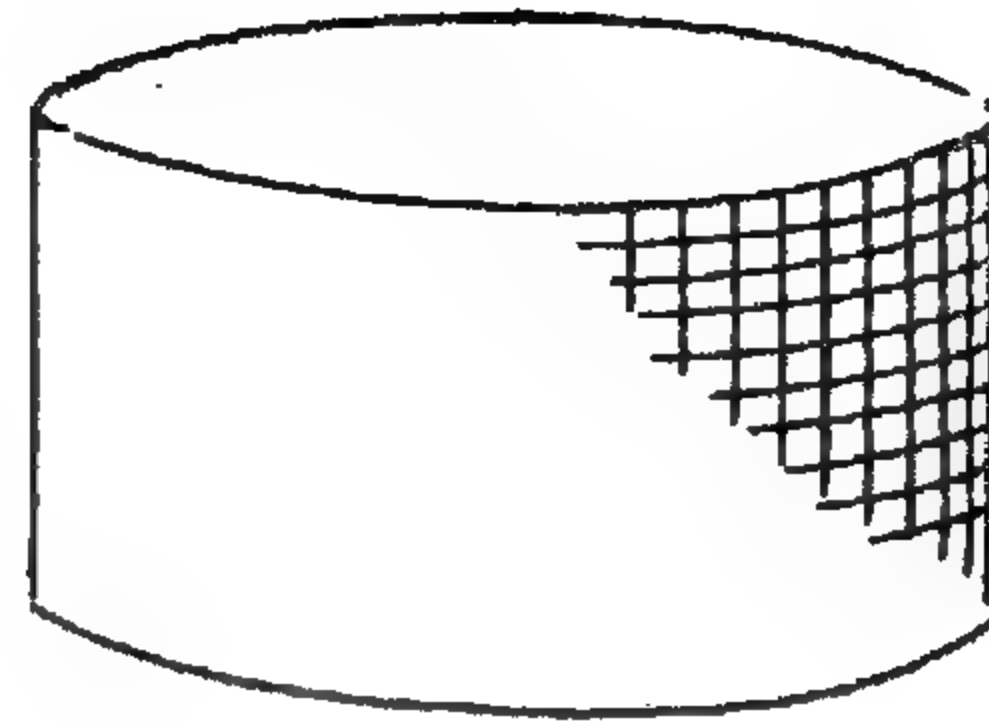
أول منزل من الخرسانة المسلحة في أمريكا -

١٨٧٦ - ١٨٧٣

(شكل ٩) منزل المهندس وارد في بورتشستر بولاية نيويورك.

(شكل ١٠) قطاع في كرة وبلاطة خرسانية .

شکل ۱۱

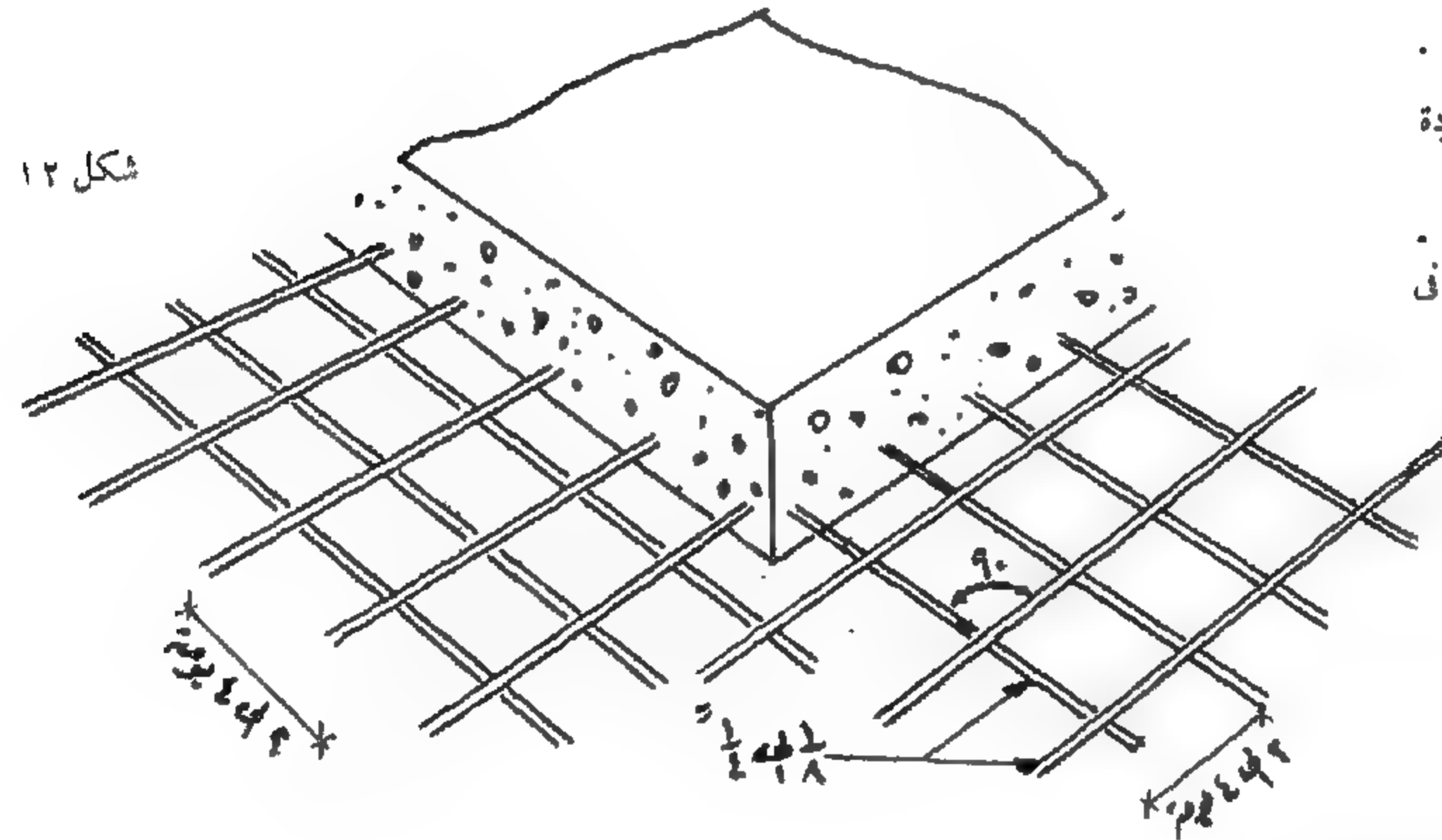


تسلیج معلقه اولو لایحه
تسلیج زامیه موزع

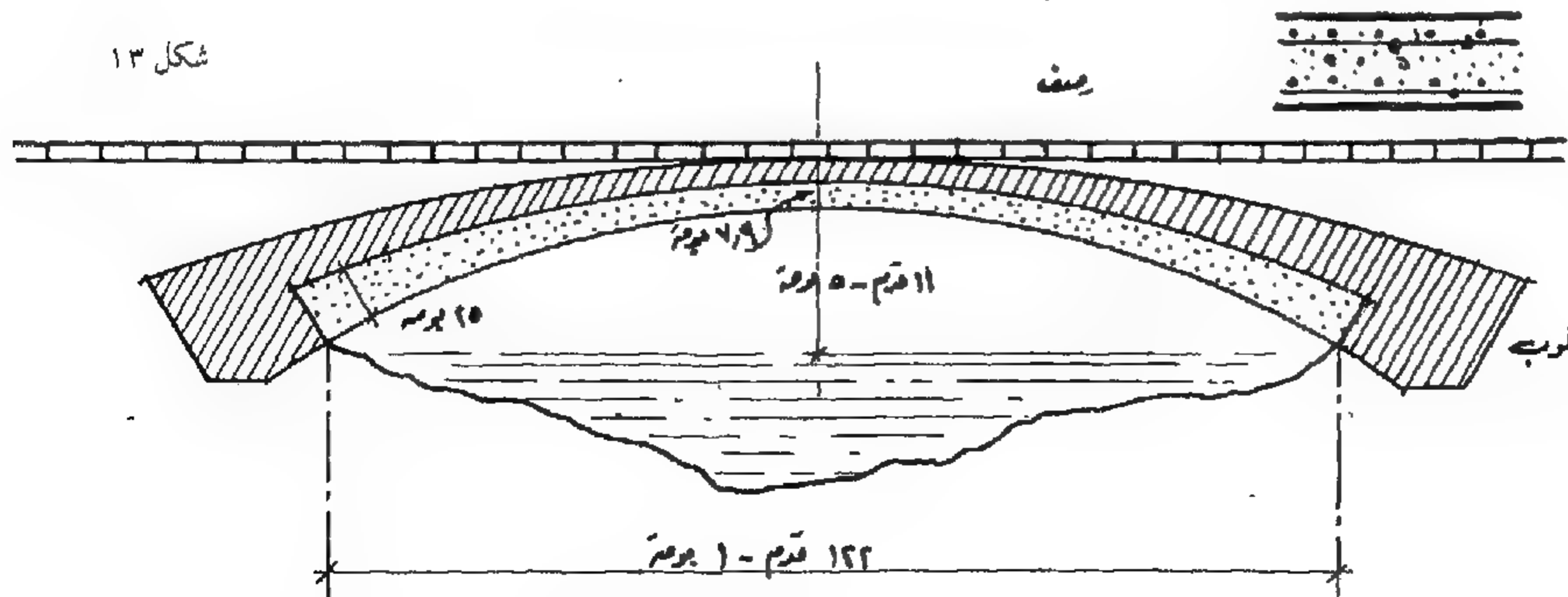
طریقه مونییه :

اخترعها مونییه وظورها وایس رکونین فی برلین .
(شکل ۱۱) خزان دائری من طبقة مفردة
أو مزدوجة .
(شکل ۱۲) بلاطات أفقية بتسلیج مزدوج .
(شکل ۱۳) کوبری فی عام ۱۸۹۰ فی
وایلدج بسویسرا .

شکل ۱۲

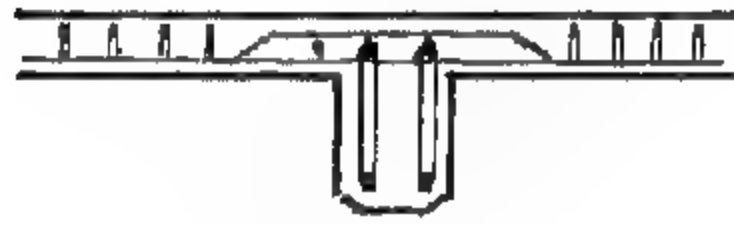


شکل ۱۳

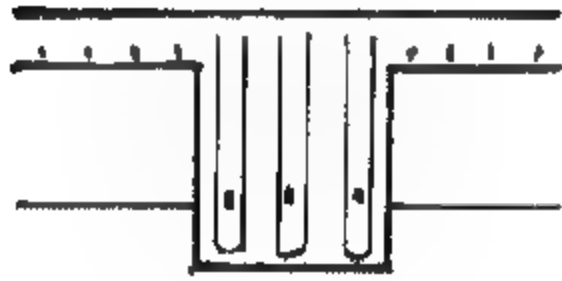


طريقة هنيك

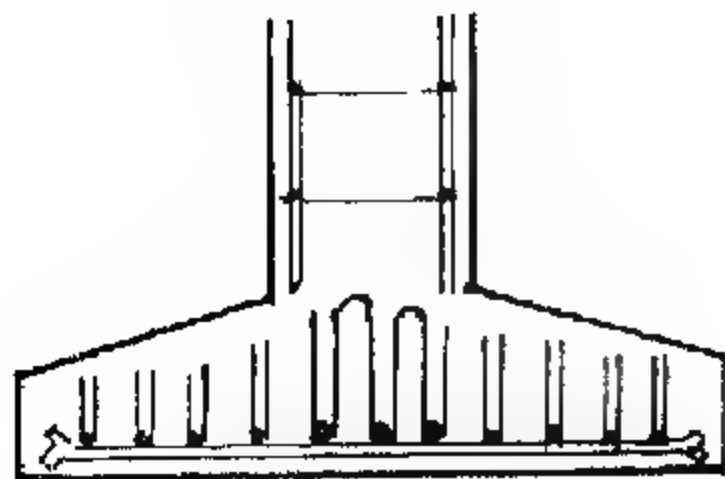
- (شكل ١٤) منظور لقطاع في كرة رئيسية وثانوية وبلاطة.
 (شكل ١٥) اتصال الأعمدة بالكمرات.
 (شكل ١٦) اتصال الكرة بالبلاطة.
 (شكل ١٧) اتصال الكرة الرئيسية بالبلاطة.
 (شكل ١٨) أساسات خرسانية.



شكل ١٦

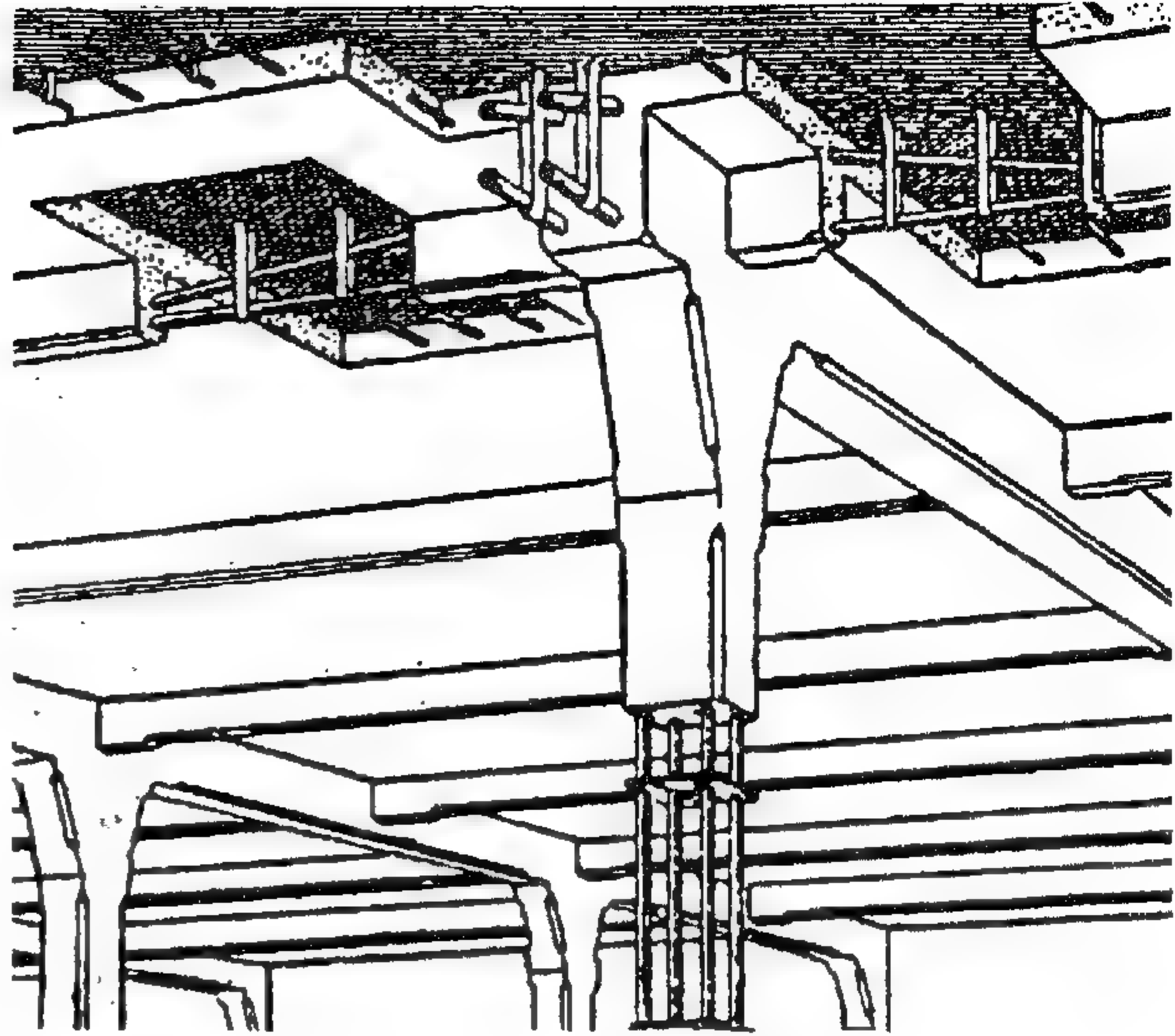


شكل ١٧

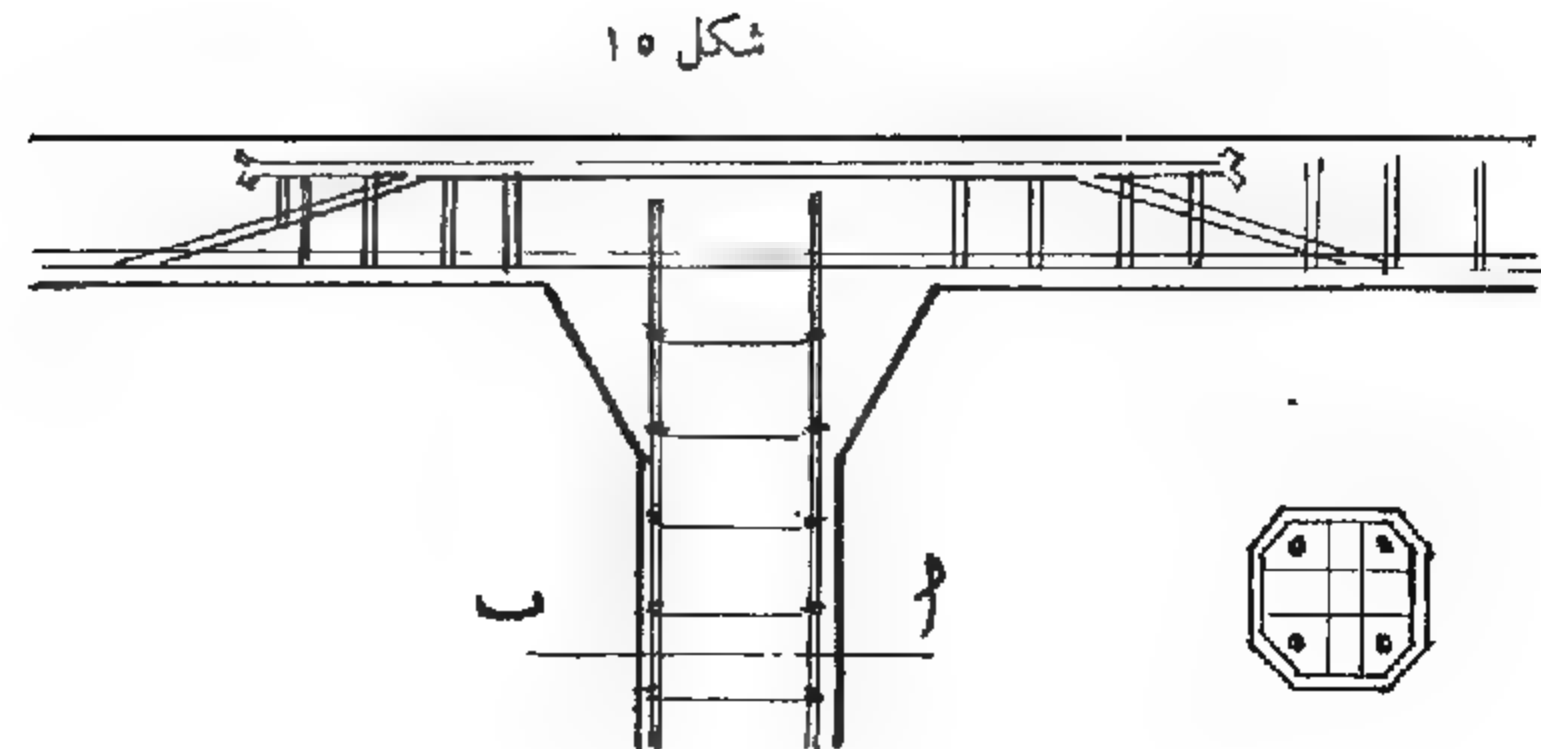


شكل ١٨

١٤٣



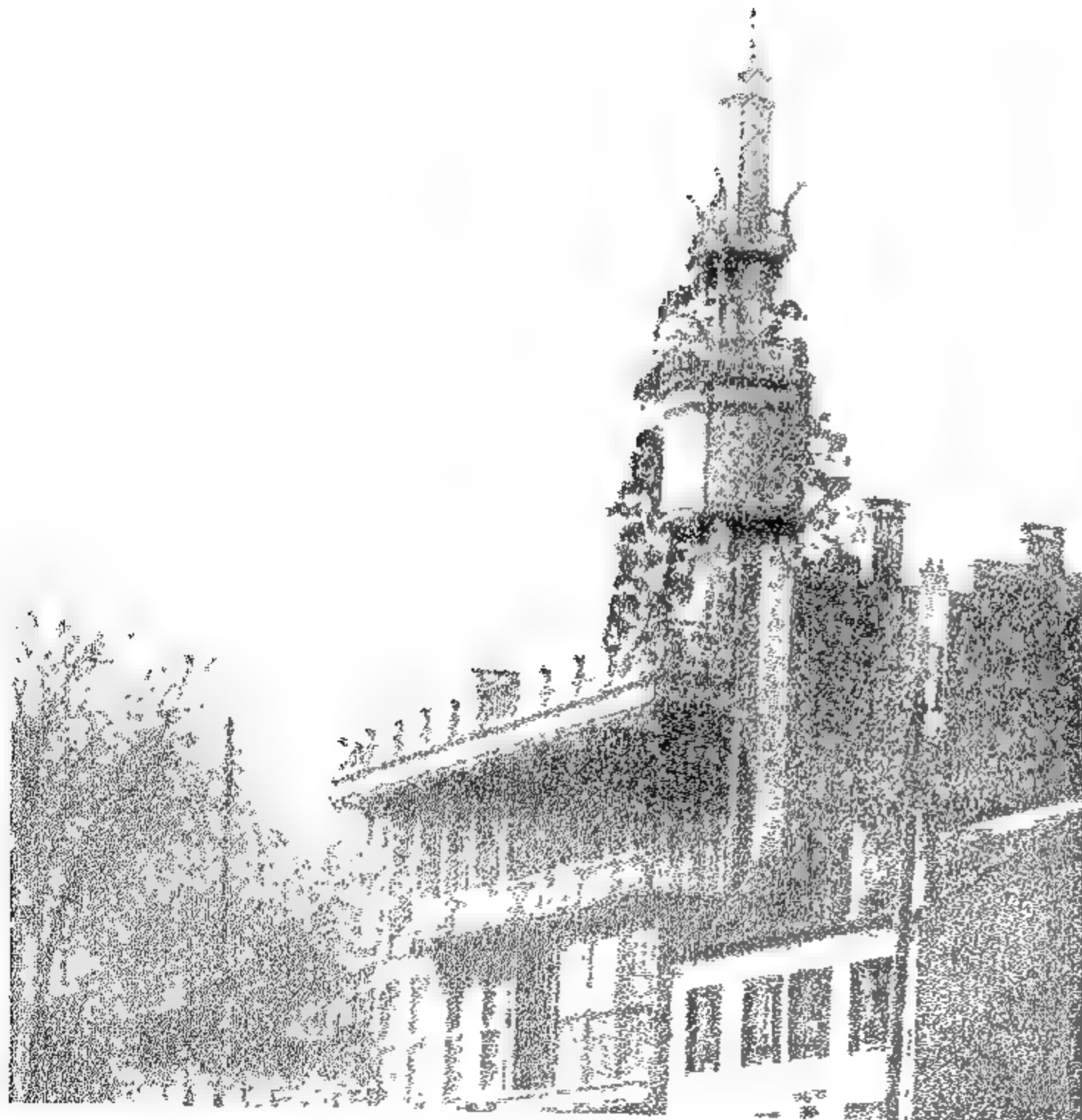
شكل ١٤



شكل ١٥



شكل

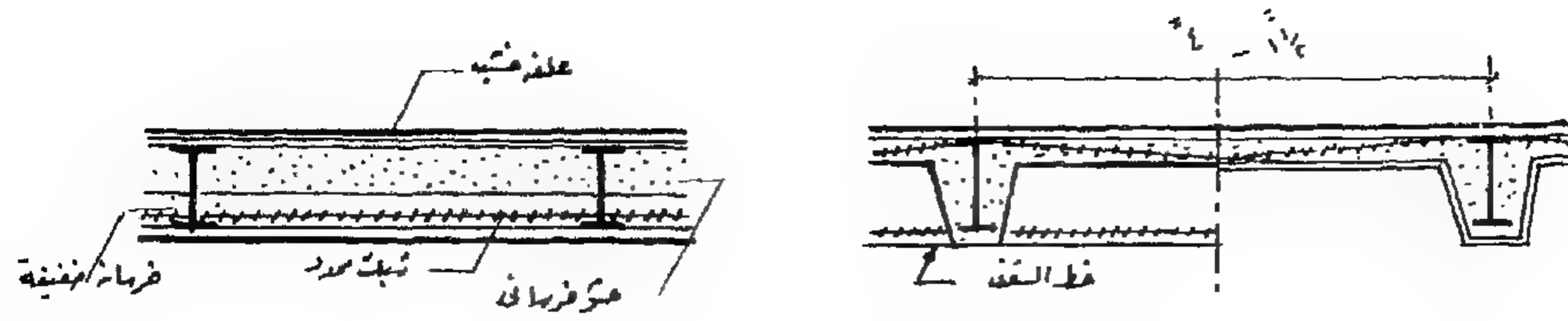


شكل ٢٠

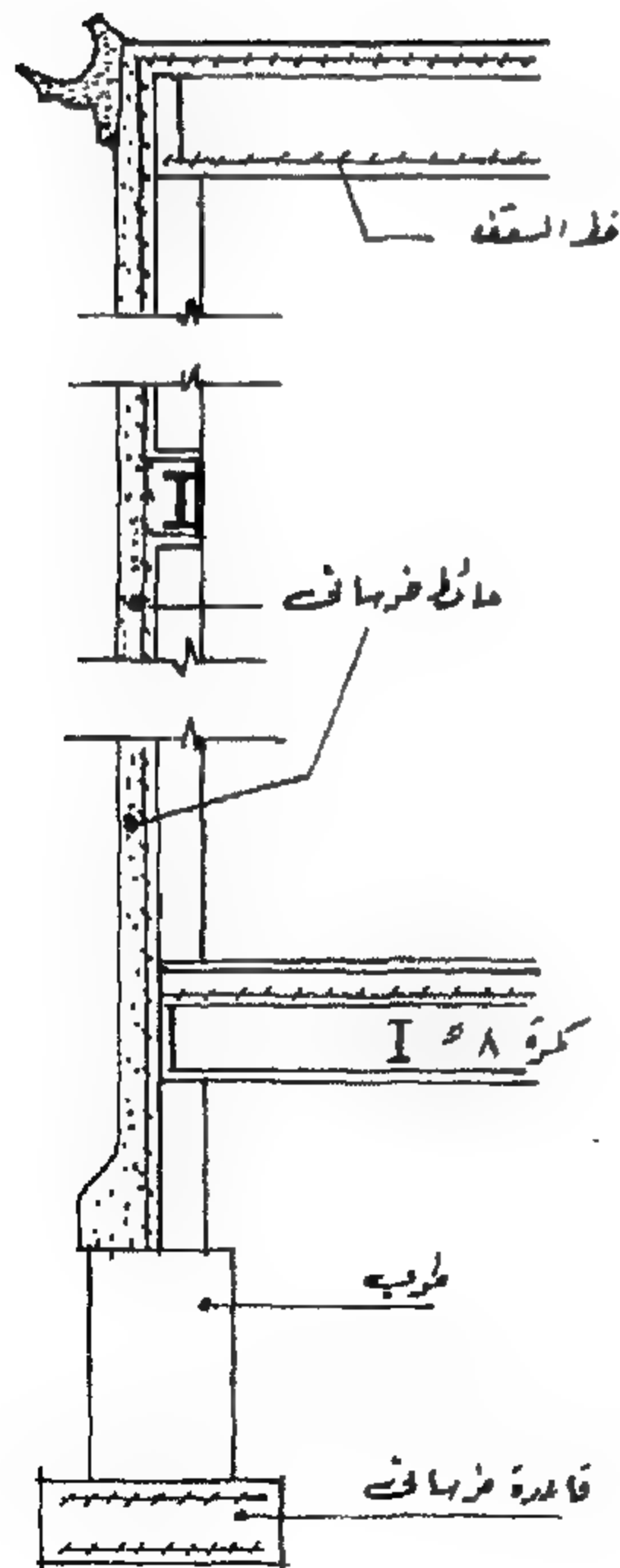
من أعمال هنيك بالحرسانة المسلحة

(شكل ١٩) عمارة رقم ١ شارع دانتون بباريس عام ١٨٩٨م -
المساري أرند.

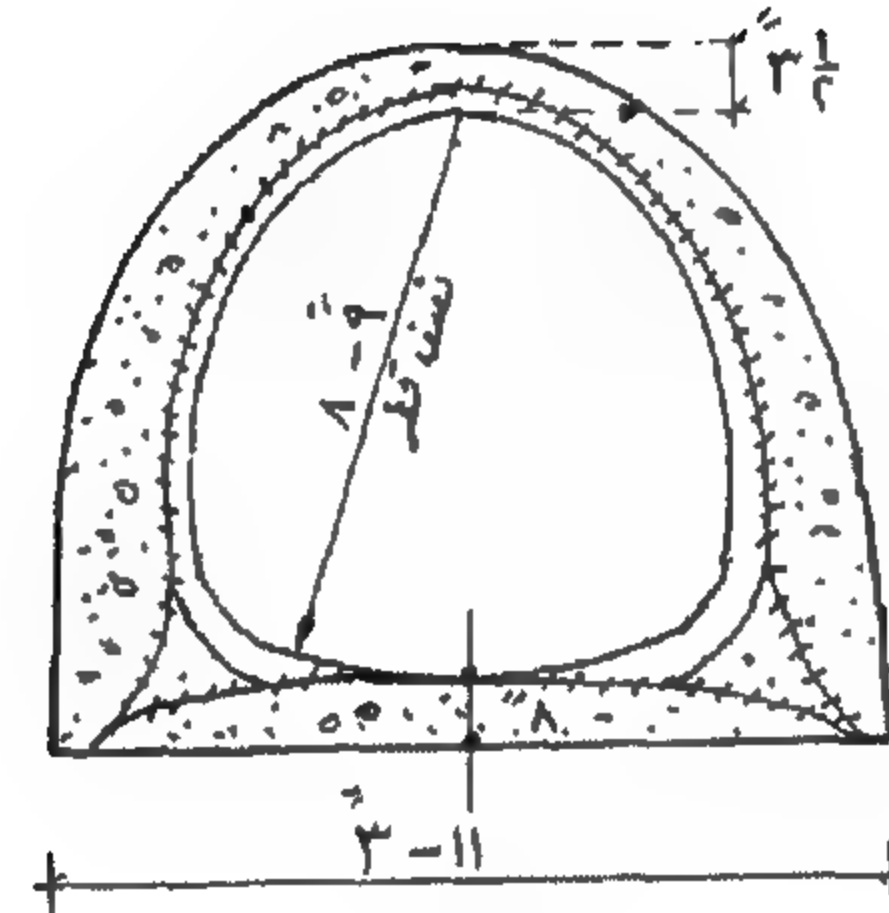
(شكل ٢٠) سكن هنيك الخاص في بوج لارين .



شكل ٢١.



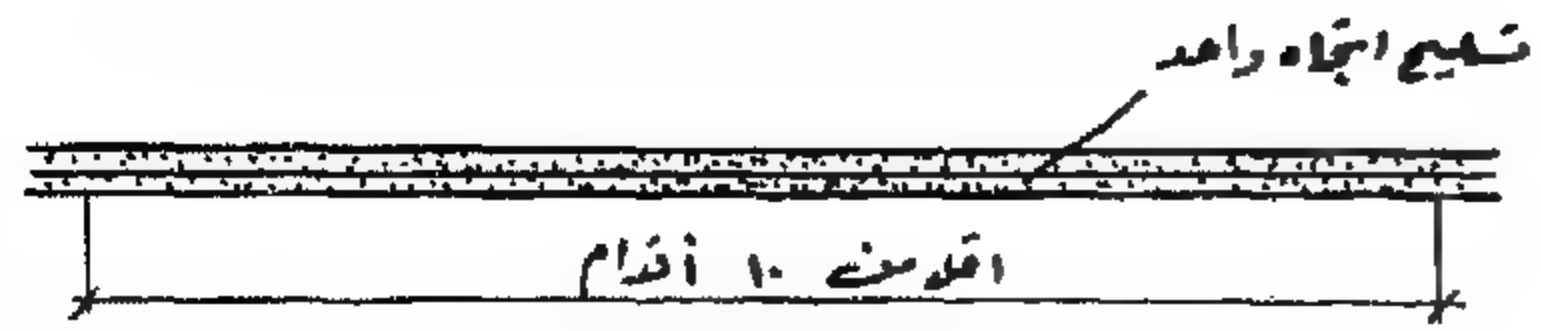
شكل ٢٣.



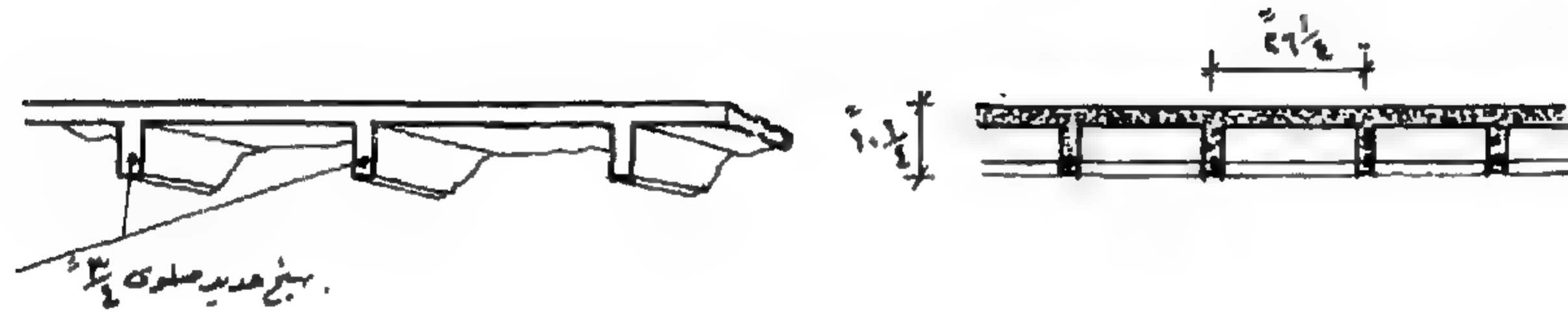
شكل ٢٢.

طريقة الشبك الممدد

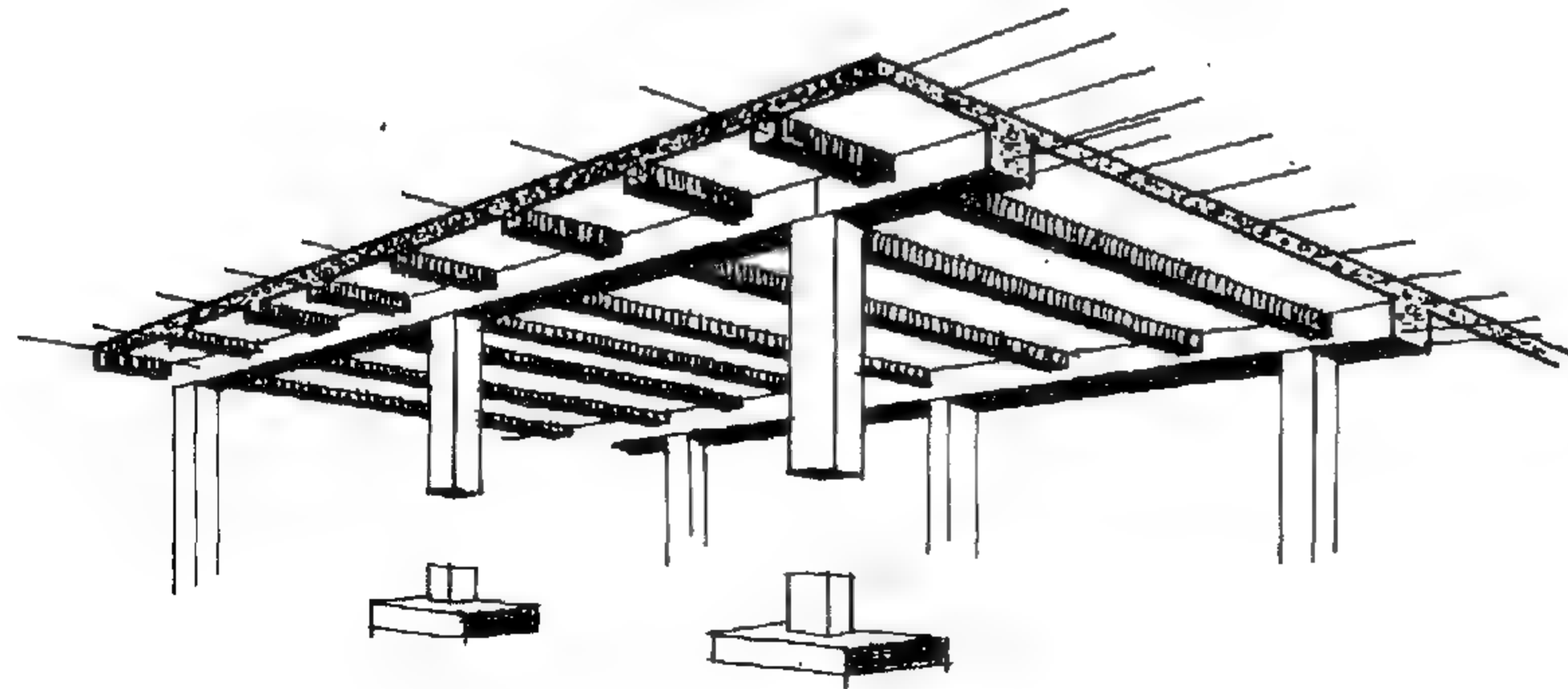
- (شكل ٢١) احتمالات مختلفة لإنشاء البلاطة الخرسانية .
- (شكل ٢٢) قطاع لماسورة لشركة مياه نيو جيرسى سنة ١٩٠٠ .
- (شكل ٢٣) قطاع لمخزن مضاد للحريق - الشركة الشرقية للشبك الممدد وشركة مناهن للخرسانة .



شكل ٢٤



شكل ٢٥



شكل ٢٦

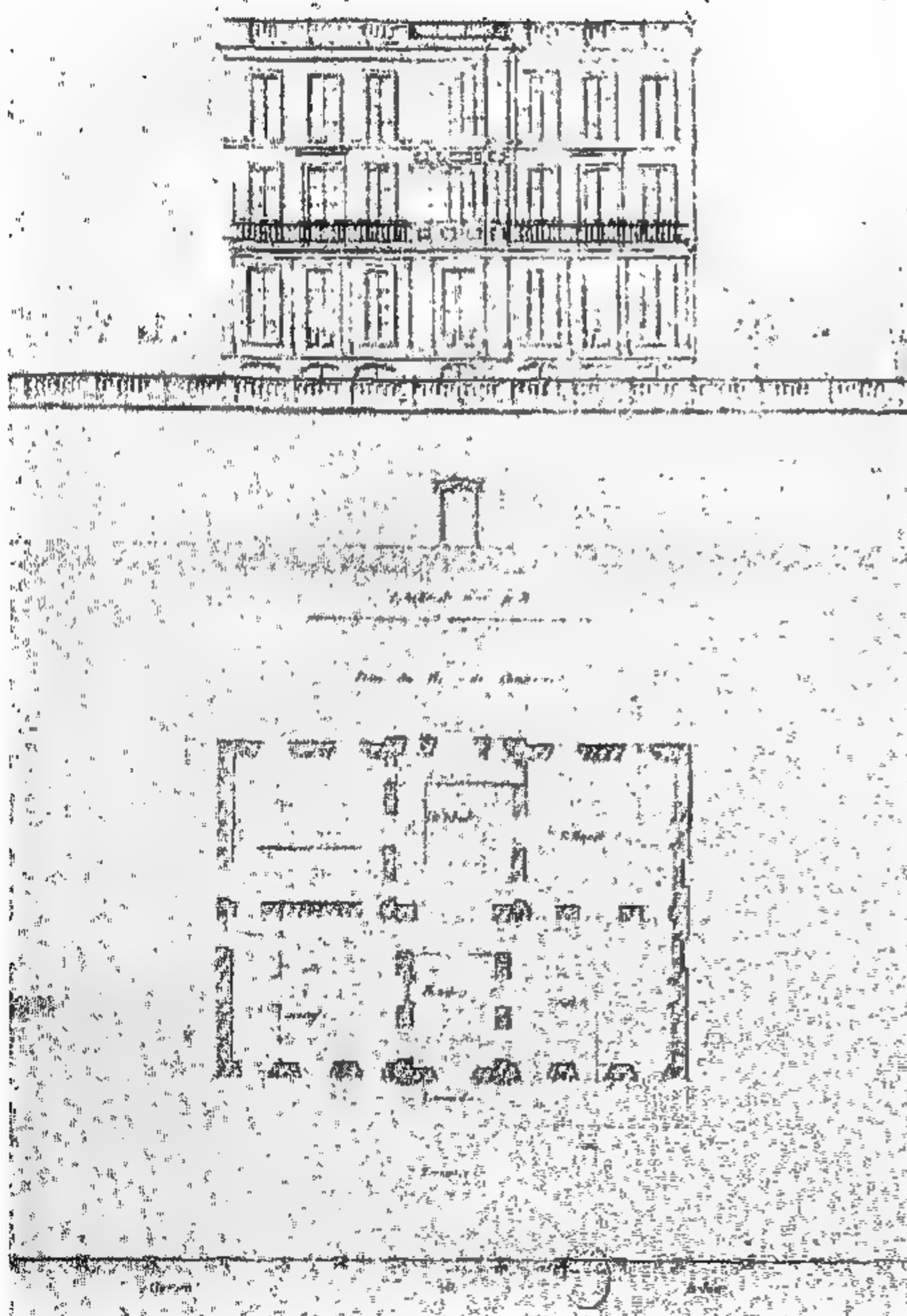
طريقة رانسوم

- (شكل ٢٤) سقف لبحور صغيرة .
- (شكل ٢٥) سقف لبحور كبيرة .
- (شكل ٢٦) إنشاء بالكمرات والبلاطات لسقف خزان تحليل .

شكل ٢٨



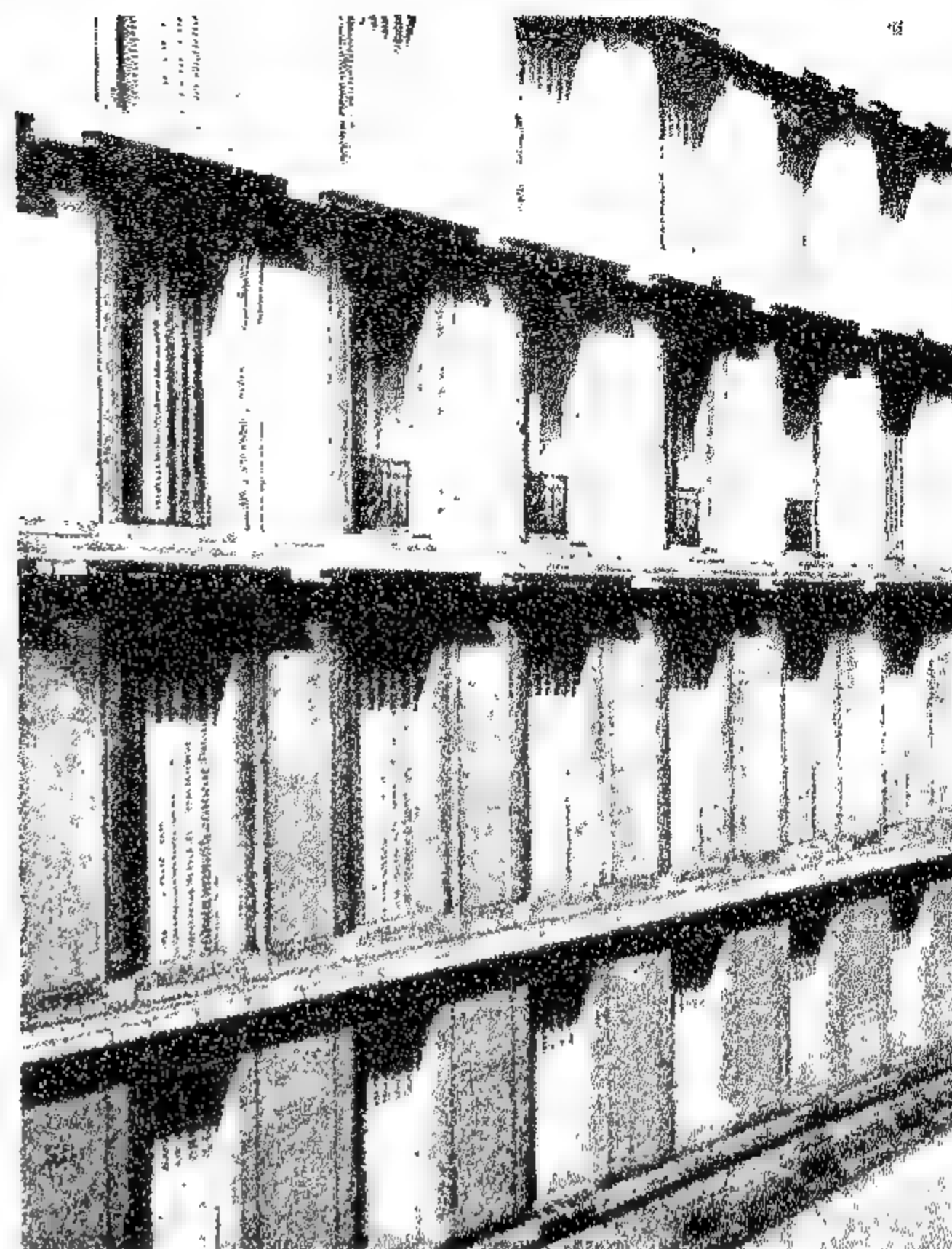
شكل ٢٧



أعمال فرنسوا كونييه بالحرسانة

- (شكل ٢٧) تصميمات المعماري تيودور لاشيه لمنزل في سانت دنيس ١٨٥٣
- (شكل ٢٨) كنيسة ليثيسينة - المعماري بوالوه - ارتفاع البرج ٤٠ مترا .

شكل ٢٩



شكل ٣٠



أعمال سكنية أولى بالحرسانة

(شكل ٢٩) عمارة المقاول فرنسواكونيه
بباريس سنة ١٨٦٧ .

(شكل ٣٠) عمارة بشارع سوئوارك زوار
سنة ١٨٨٥ - المقاول جودوون - .

الاقتباس في عمارة الخرسانة المسلحة

(شكل ٣١) مسرح ديكورنو في آجن
بفرنسا سنة ١٩٠٧ .

(شكل ٣٢) منزل وارد في هورتشستر بنيويورك
سنة ١٨٧٣ - ٧٧ .

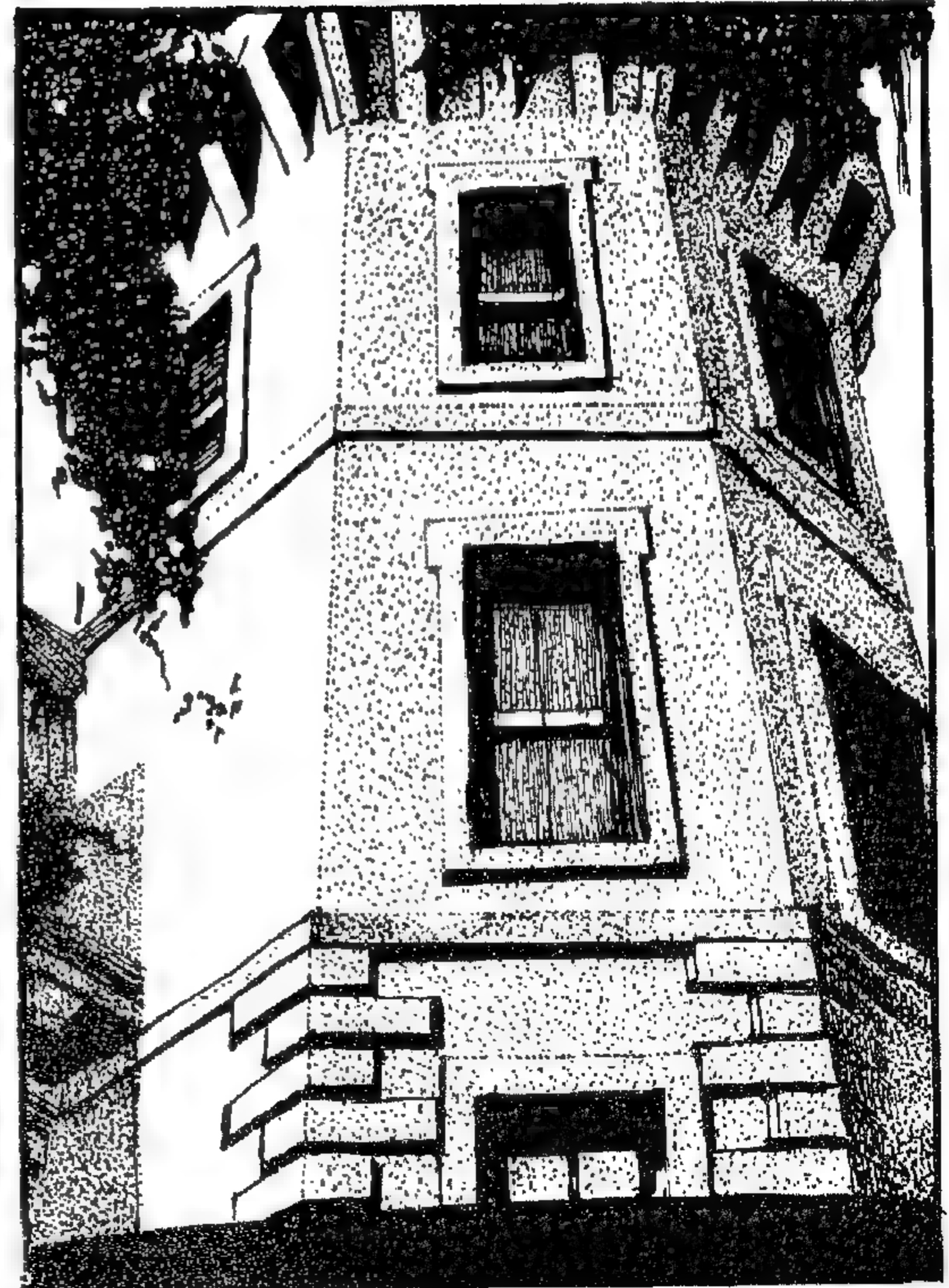
(شكل ٣٣) منزل وارد - البرج الثمن .

(شكل ٣٤) منزل وارد - أسوار خرسانية .

شكل ٣١



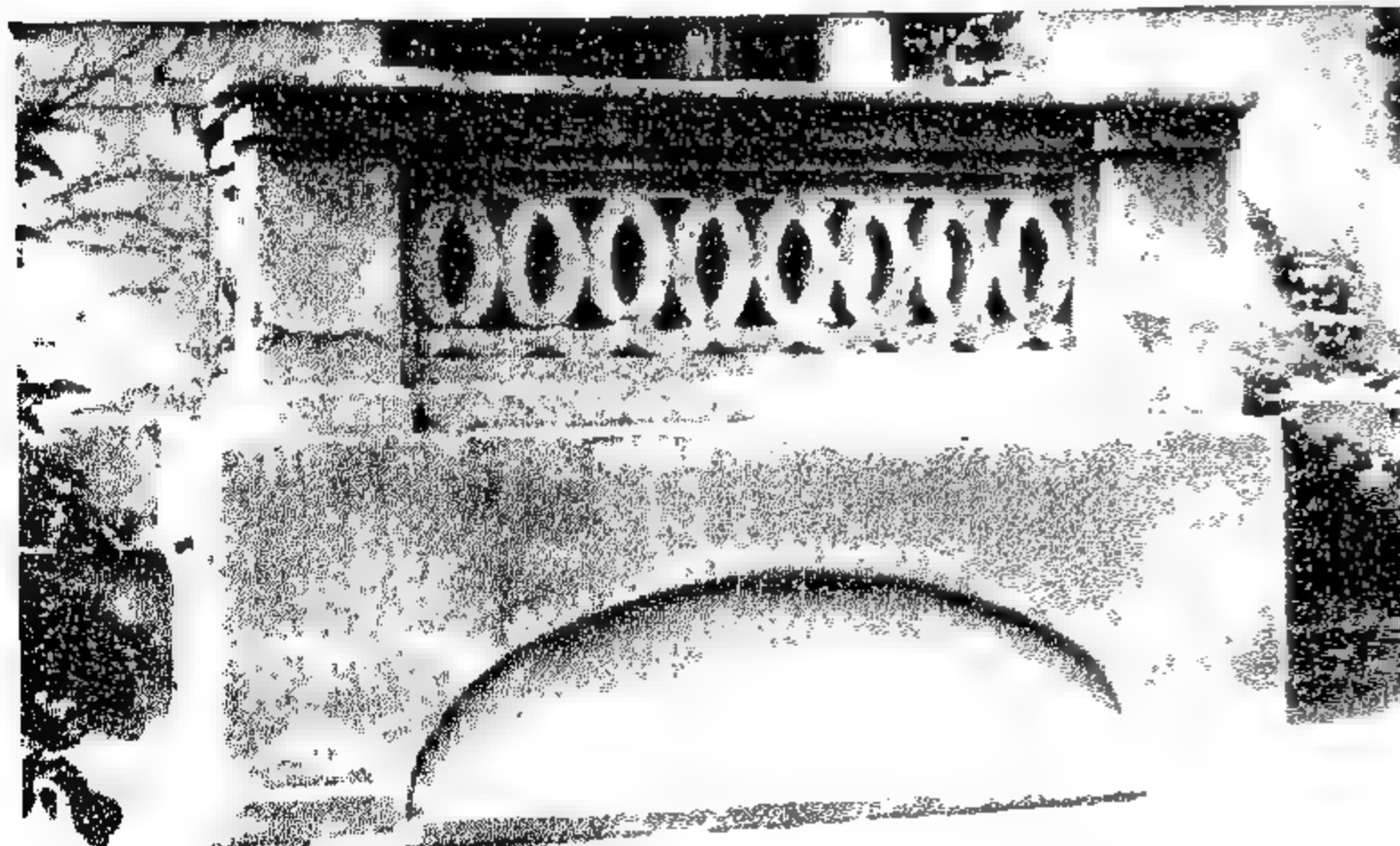
شكل ٣٣



شكل ٣٢



شكل ٣٤



الاقتباس في عمارة الحوسانة المسلحة

(شكل ٣٥) متحف ستانفورد الصغير

سنة ١٨٨٩ - المقاول راتسوم .

(شكل ٣٦) مسرح هوليود - كاليفورنيا -

المعماريين مورجان و والز وكليمنتز .

(شكل ٣٧) مسرح مايان بلوس أنجلوس

- المعماريين مورجان و والز وكليمنتز .

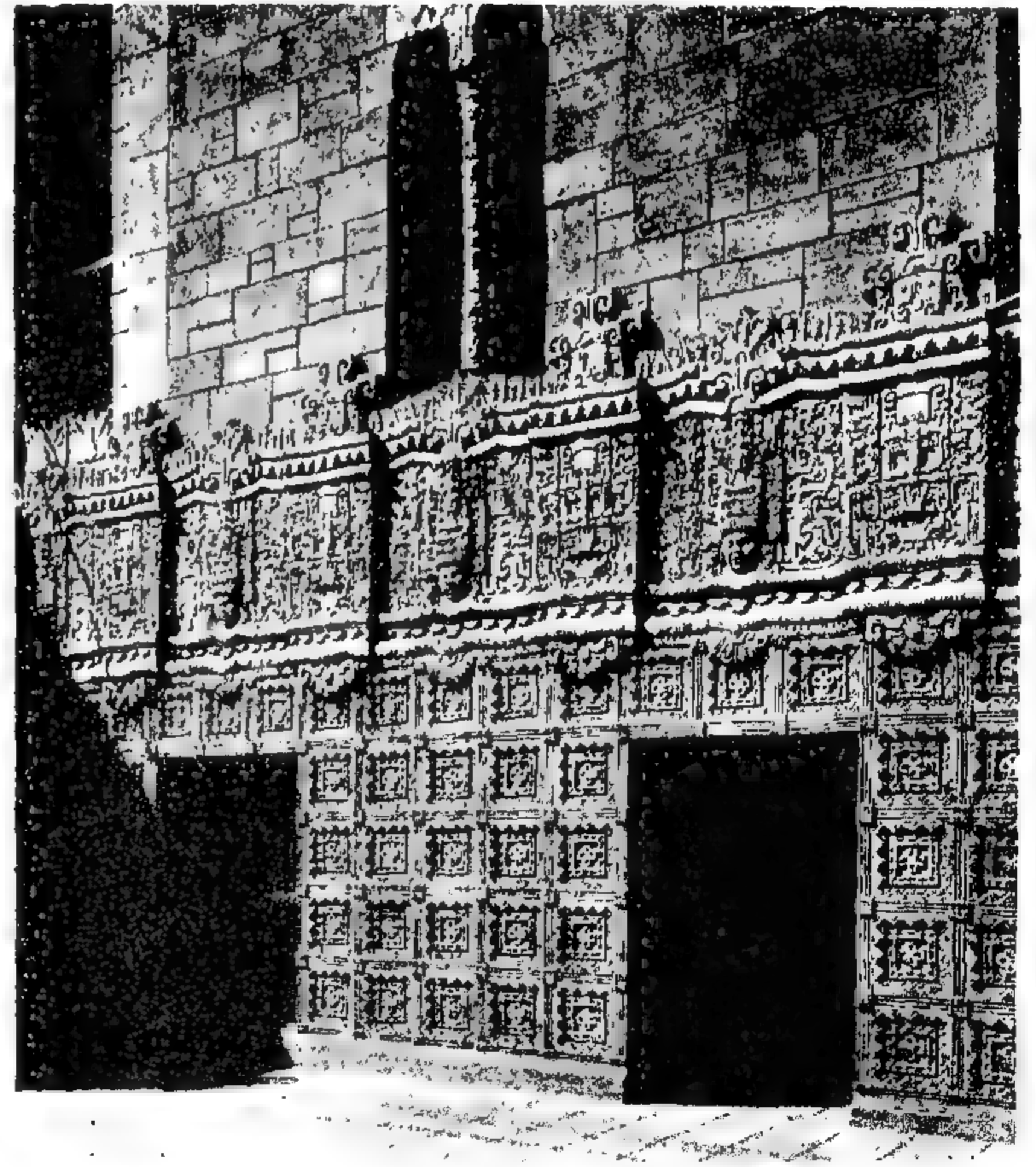
شكل ٣٥



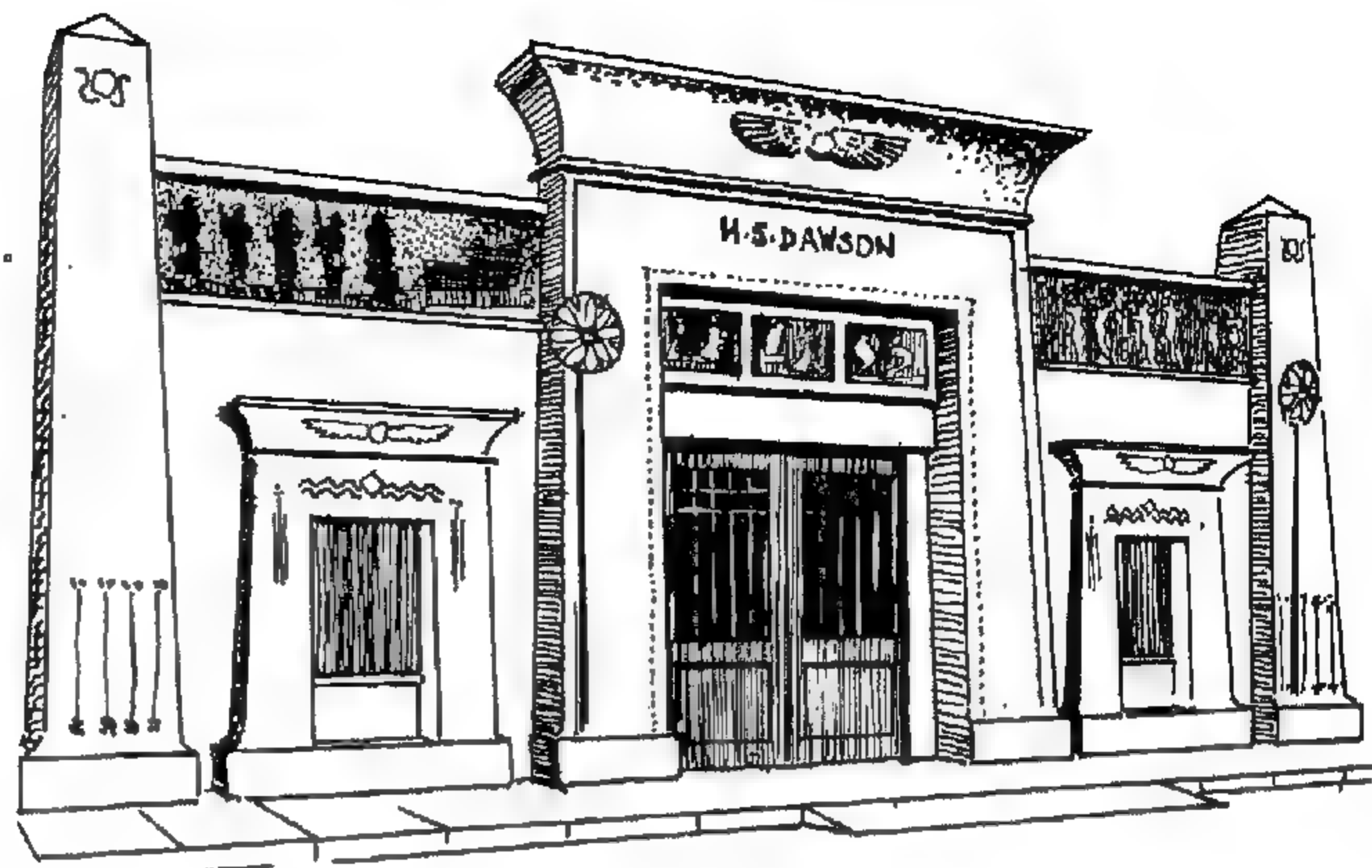
شكل ٣٧



شكل ٣٦



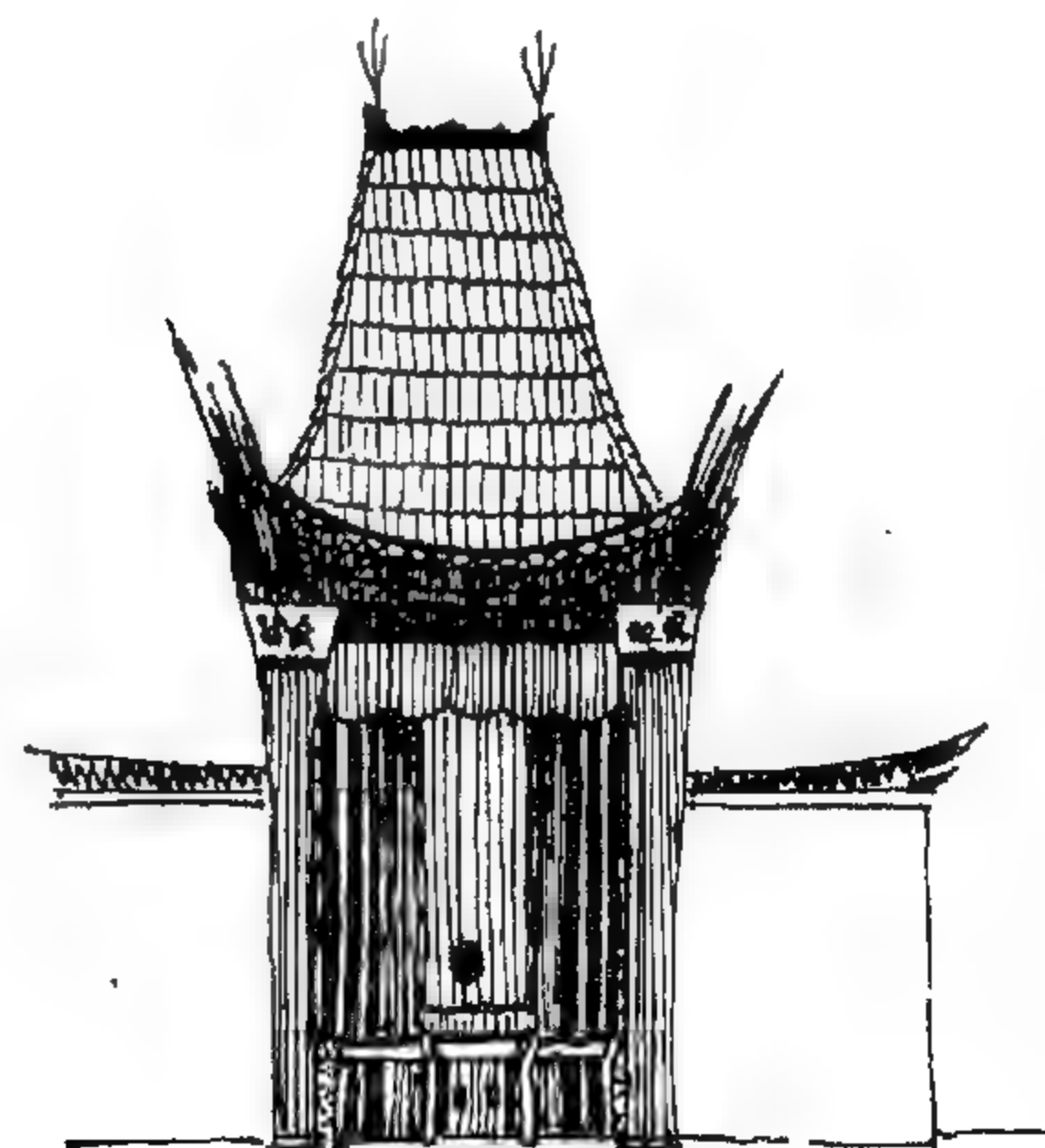
الاقتباس من عمارة الحوسانة المسلحة
 (شكل ٣٨) مخزن داونسن سكوتن بكاليفورنيا -
 المهندس المعماري جلن آلن .
 (شكل ٣٩) معبد الملايكة بلوس أنجلوس
 بكاليفورنيا - المهندس المعماري ج. أوستن .
 (شكل ٤٠) مسرح جرومان الصيني هوليوود
 بكاليفورنيا - المهندسين المعماريين ماير وهولزر -



شكل ٣٨



شكل ٣٩



شكل ٤٠

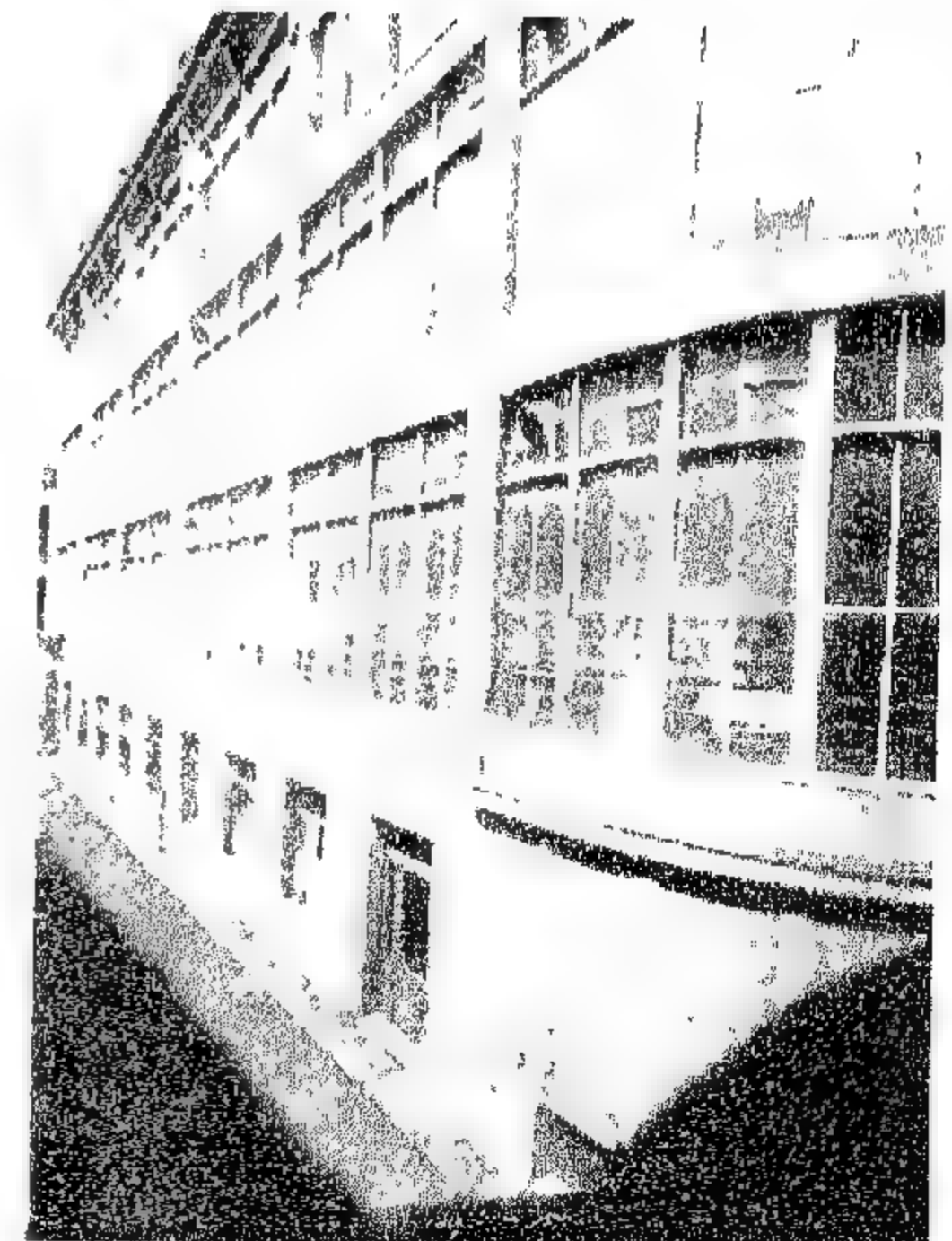
العمارة الصناعية بالحرسنة المسلحة

(شکل ۱۱) مغزل شارلزنسکس فی تورکون

بفرنسا سنة ١٨٦٥ - المهندس هنيك .

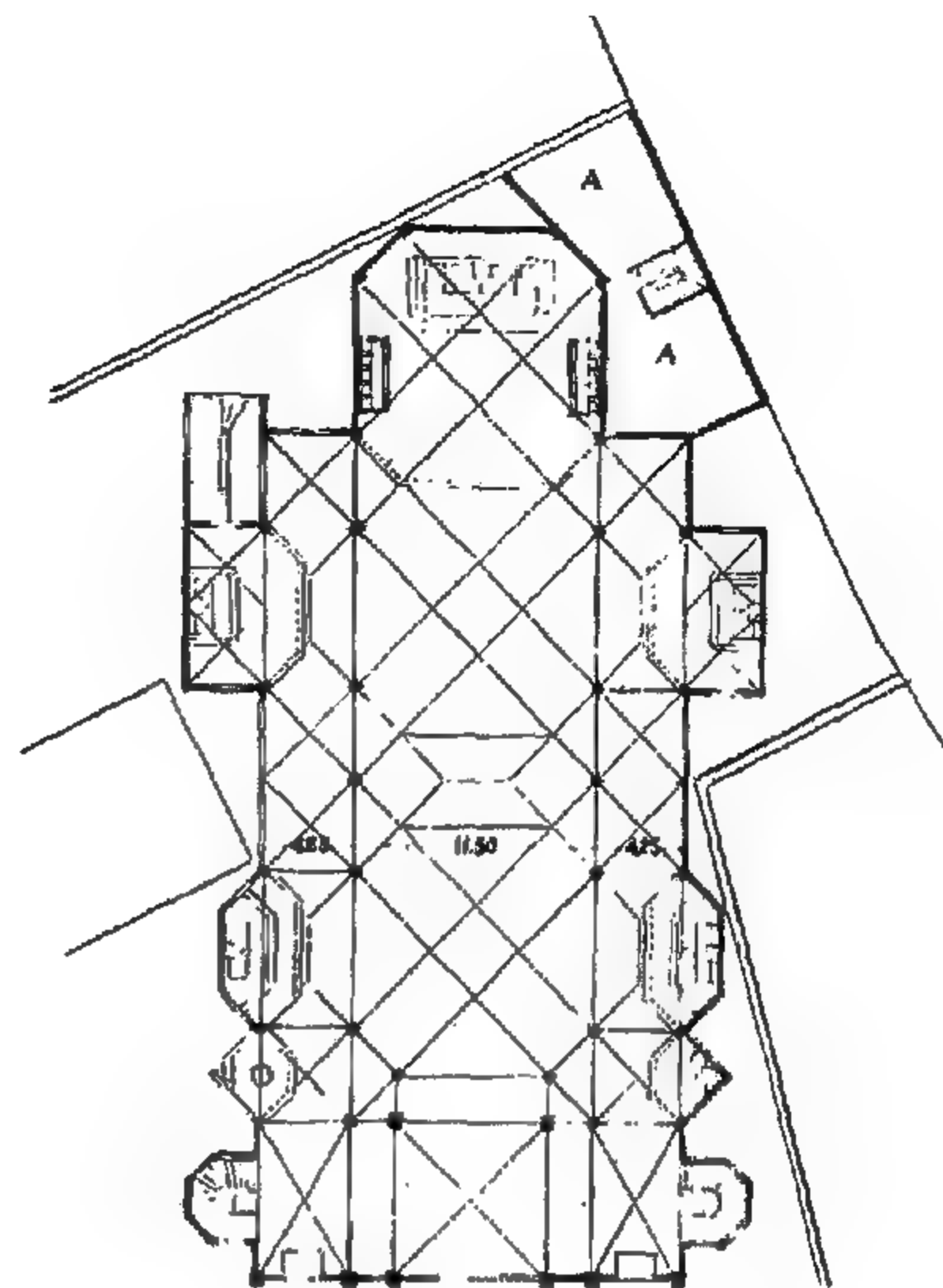
(شکل ۱۲) مصنع کیلی وجوئز فی جرینڈ پیرج

بينمئذنا المهندس - رافسوم .





شکل ۴۳



شکل ۴۴

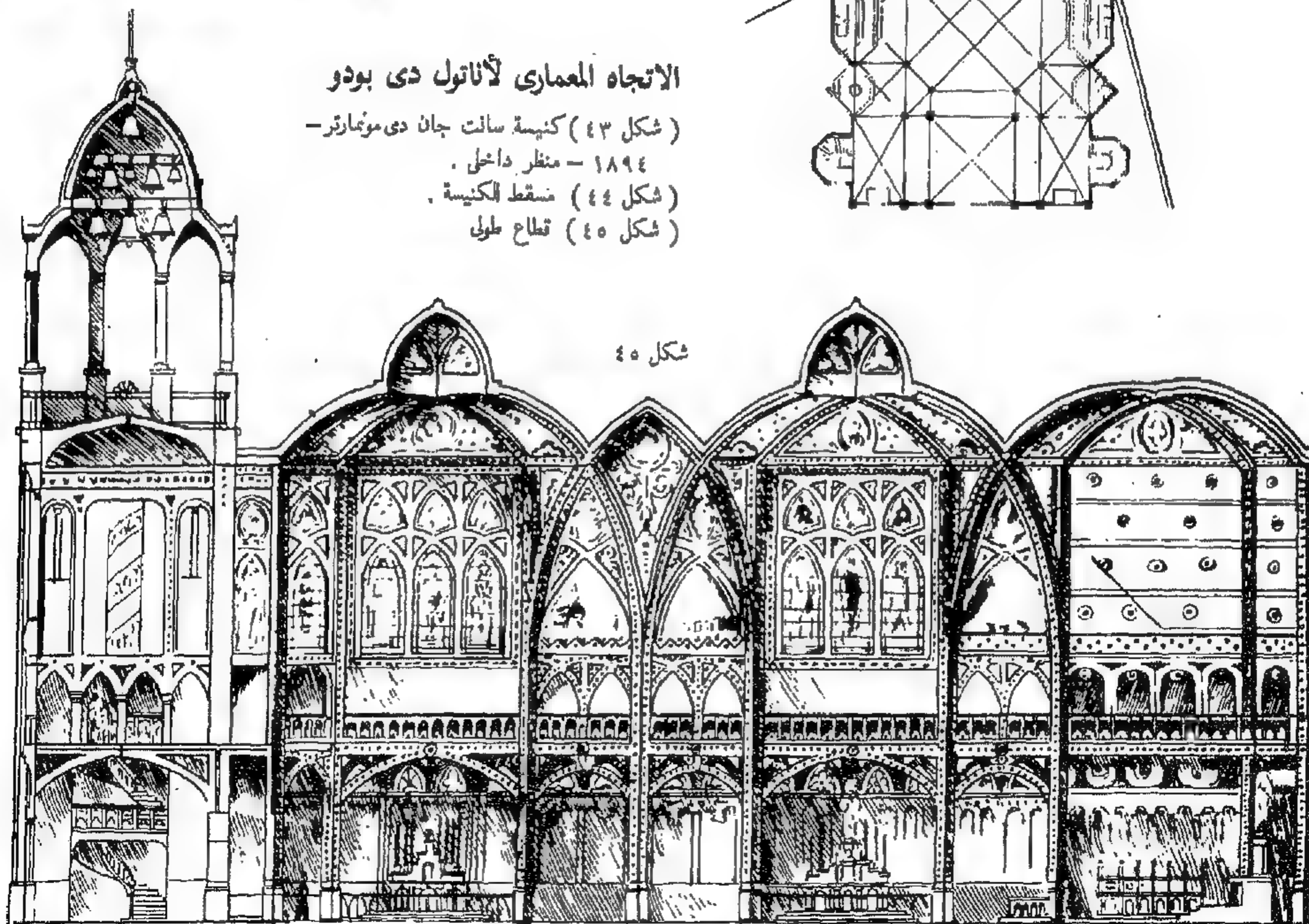
الاتجاه المعماري لآناطول دي بودو

(شکل ۴۳) کنیسه سانت جان دی مونمارتر -

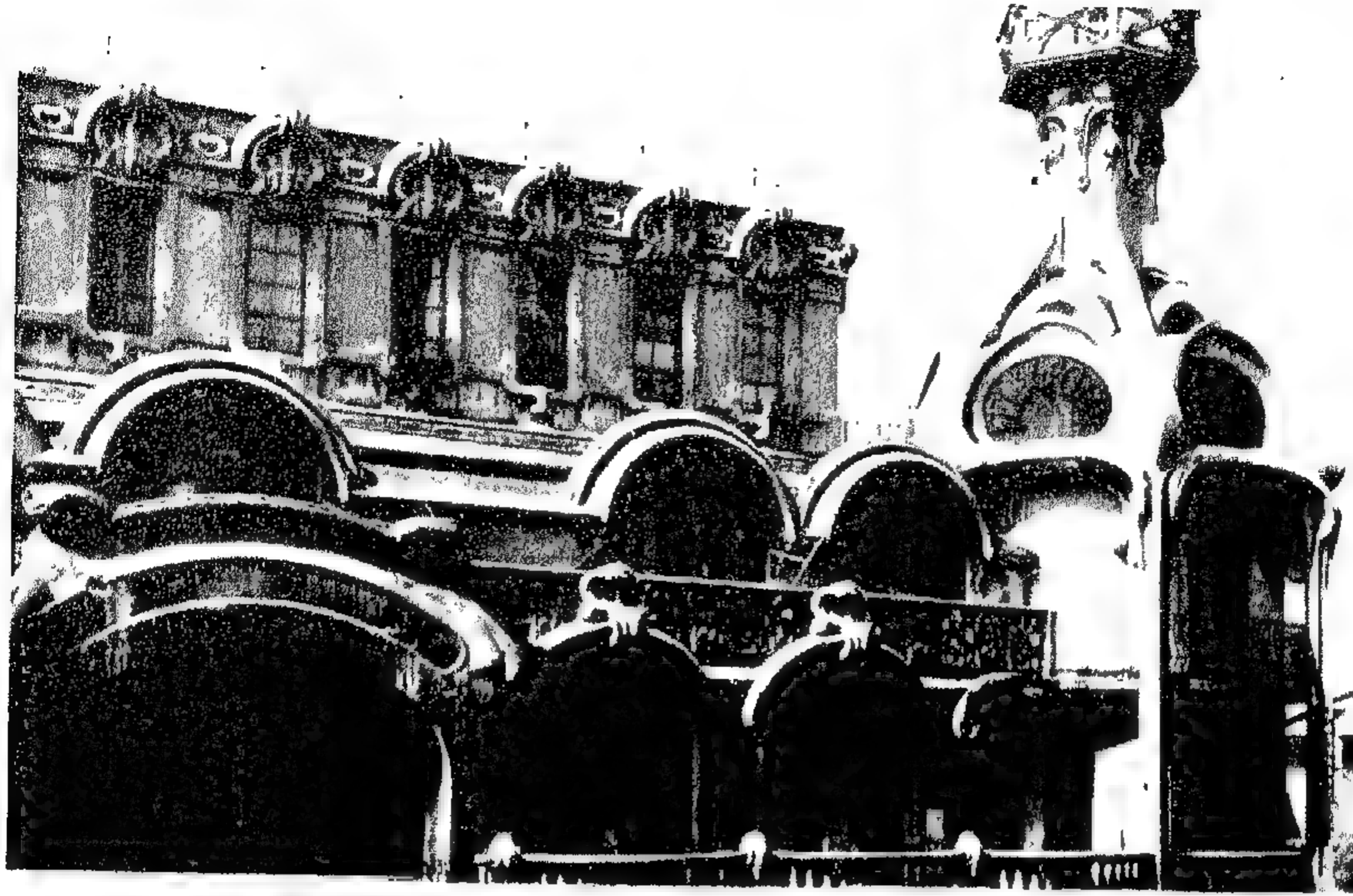
۱۸۹۴ - منظر داخلی .

(شکل ۴۴) منقط الكنيسة .

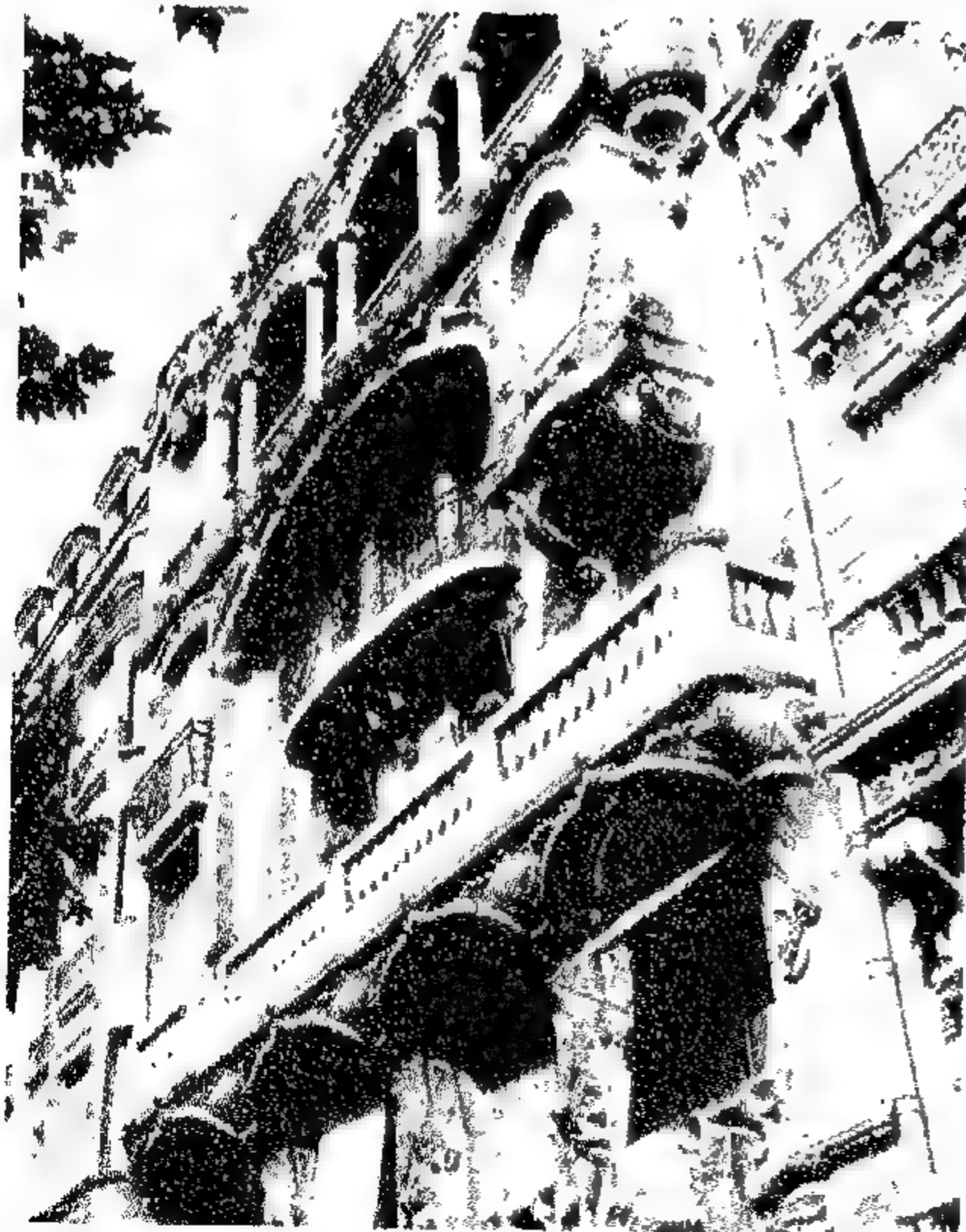
(شکل ۴۵) قطاع طولی



شکل ۴۵



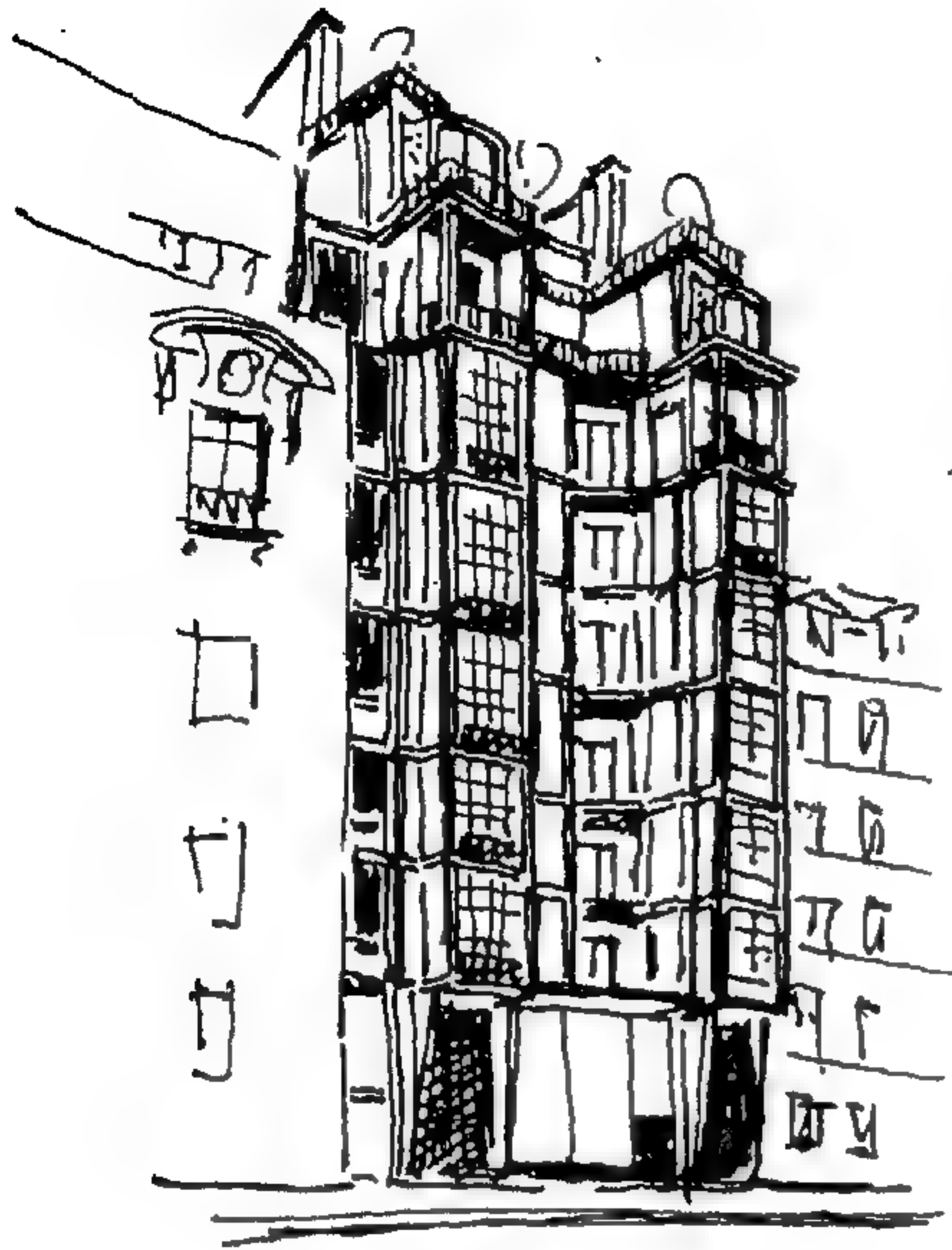
شكل ٦



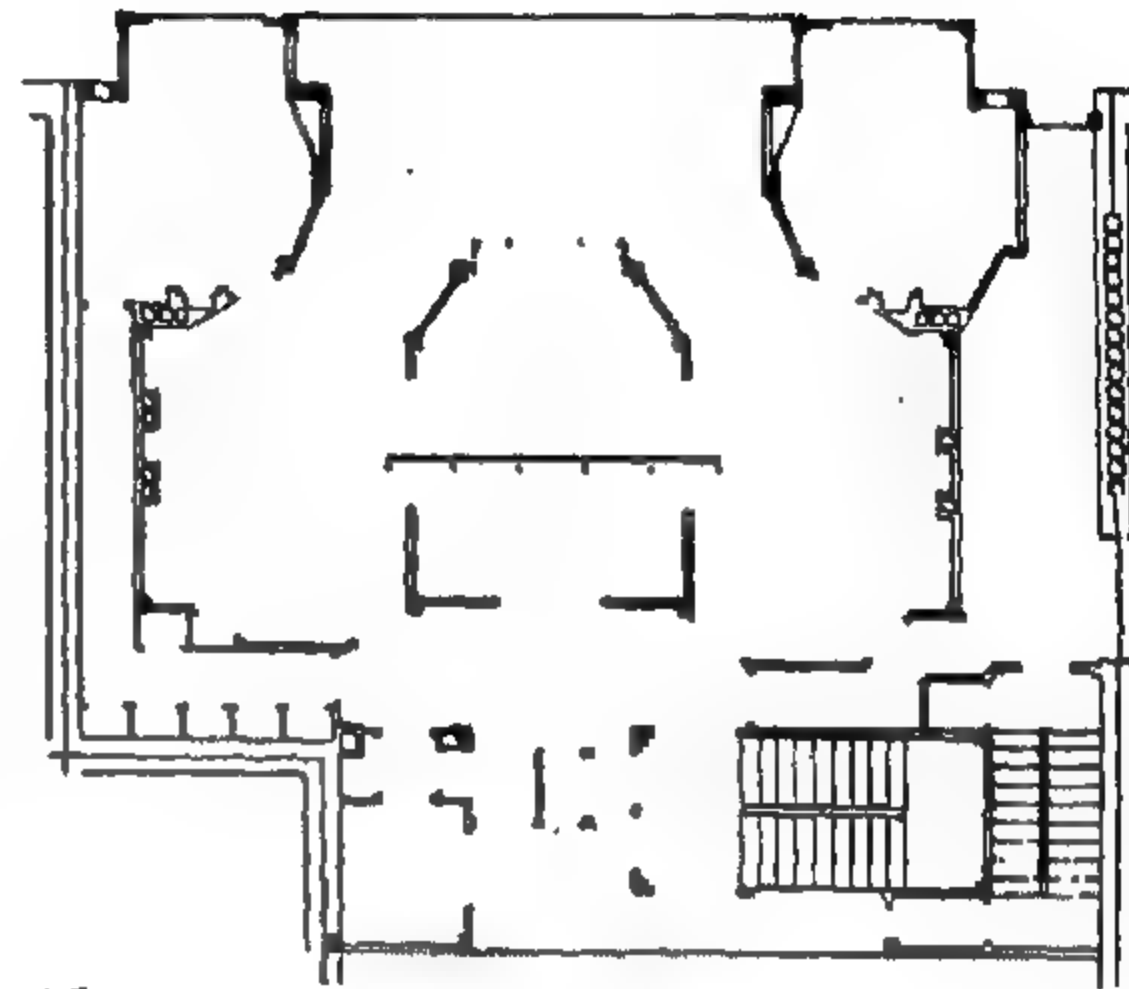
شكل ٤٧

اتجاه الفن الجديد

- (شكل ٤٦) عمارة محلات فيليكس بوتن
سنة ١٩٠٤ - المعماري أوشيه - طريقة هنييك .
(شكل ٤٧) عمارة بشارع راب ١٩٠١
- المعماري لافيروت (طريقة كوتانسين) .

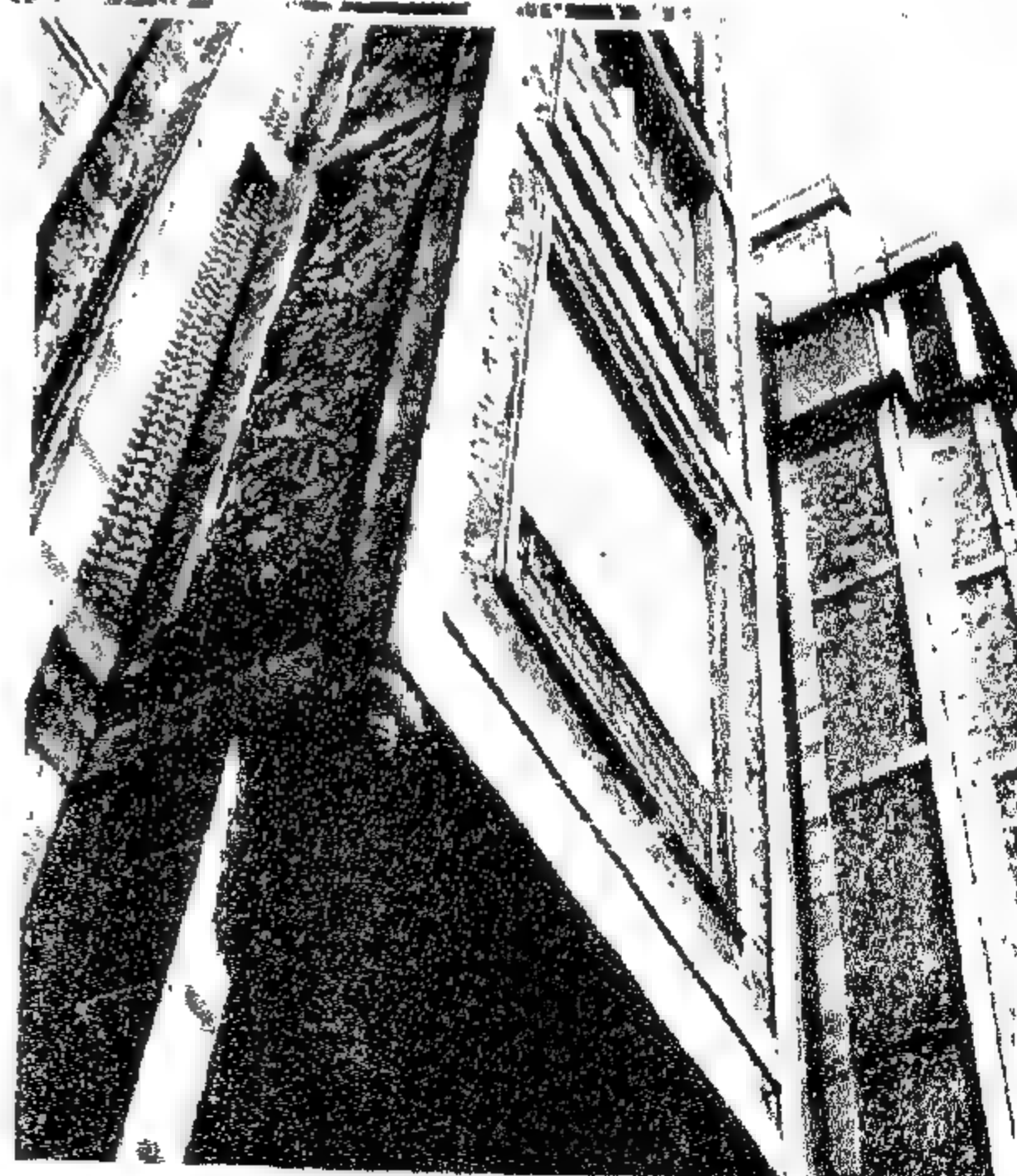


شكل ٤٨

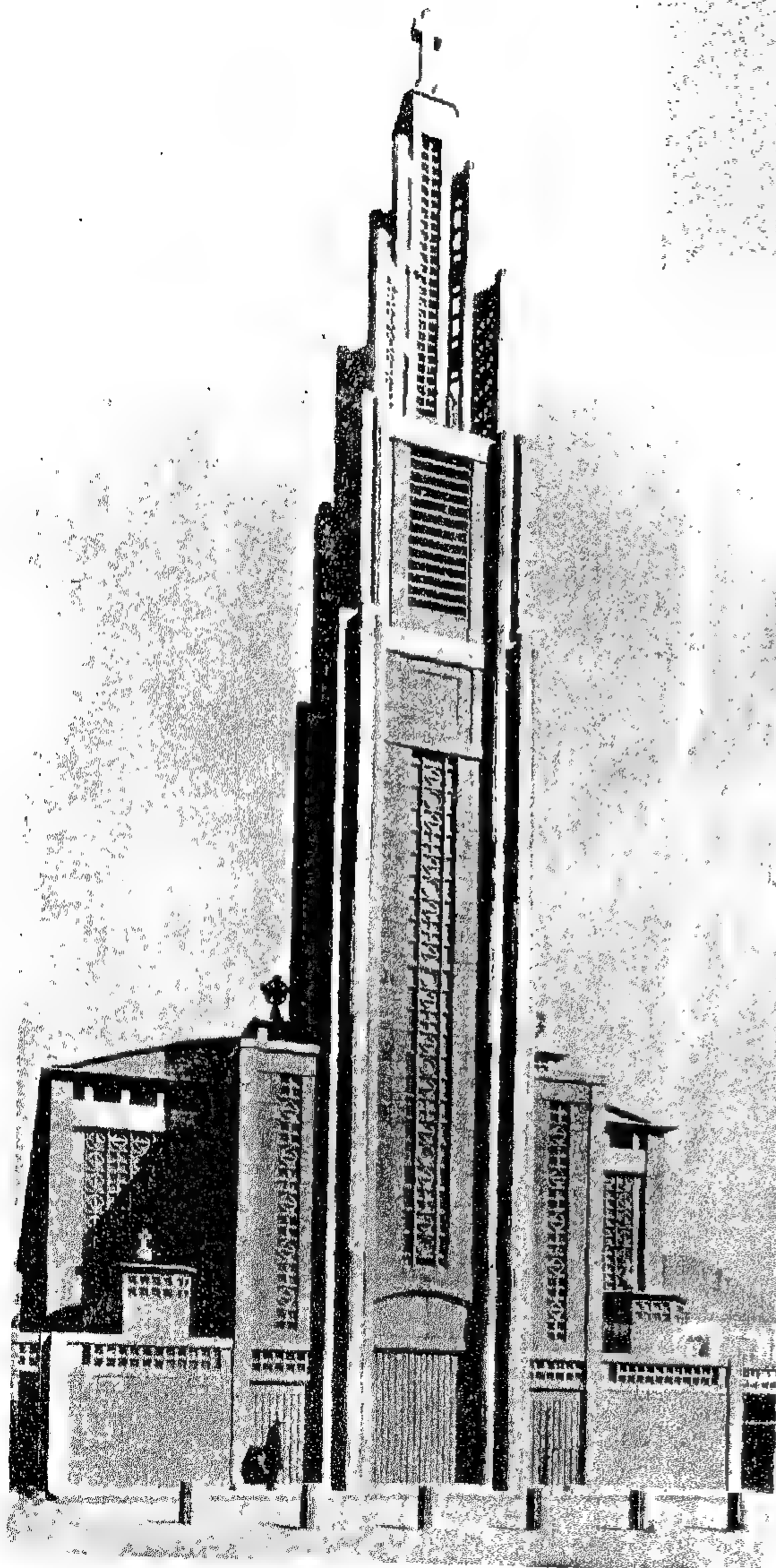


شكل ٤٩

الاتجاه المعماري لأوجست بيريه
(شكل ٤٨) عمارة ٢٥ ب شارع فرانكلين
بباريس ١٩٠٣ - منظور ومسقط .
(شكل ٤٩) تفصيلية للواجهة .



شکل ۵۲

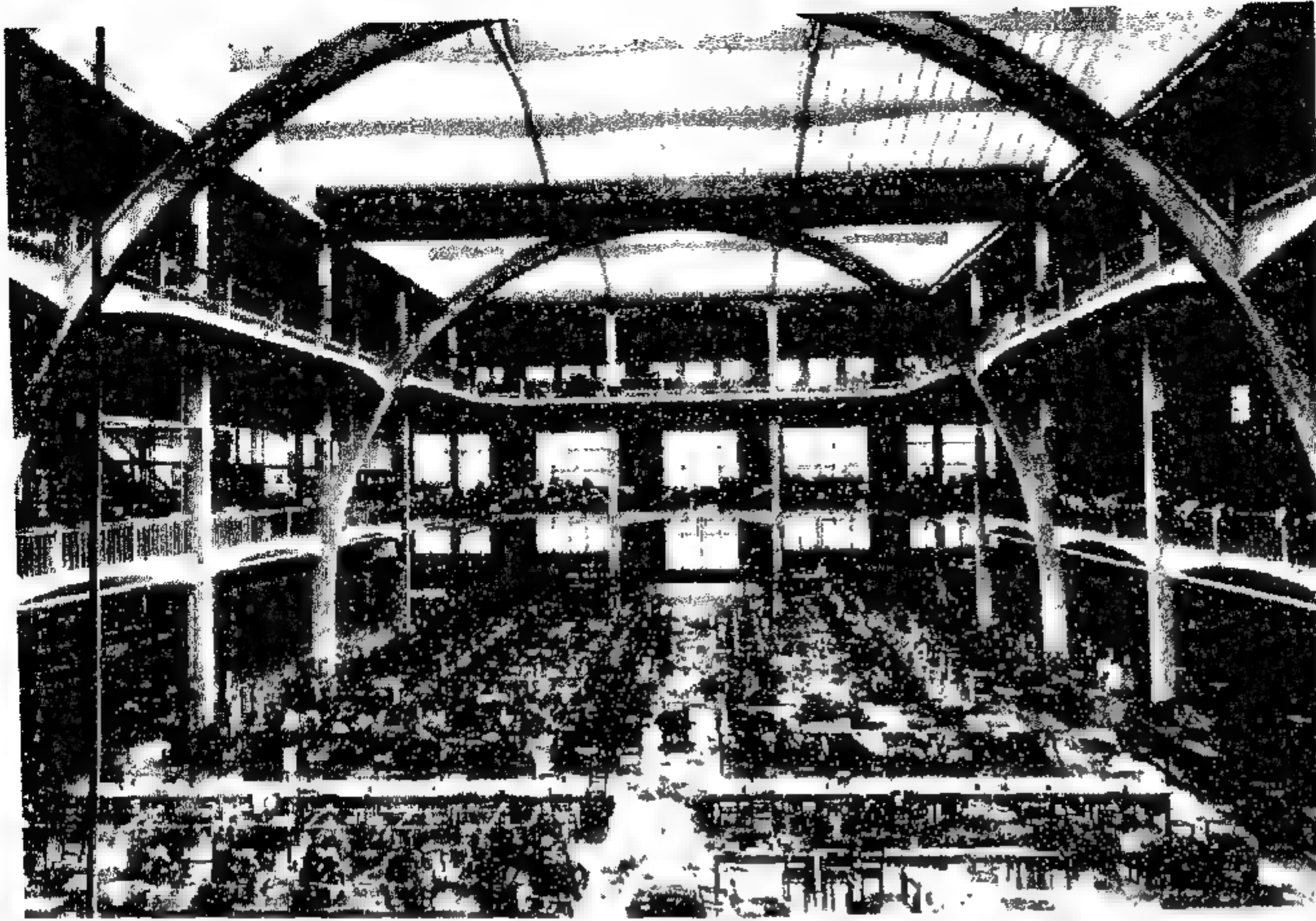


شکل ۵۰

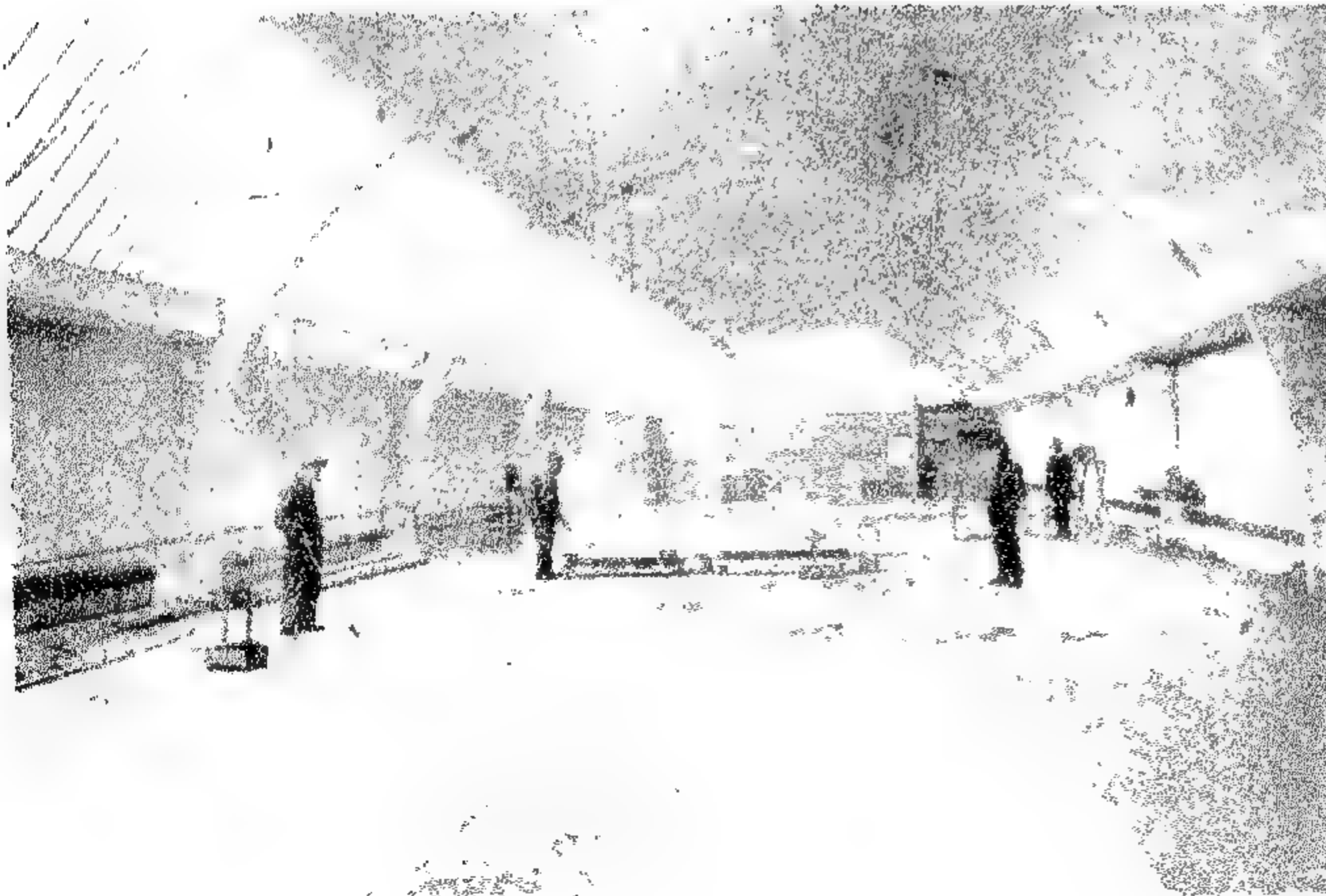


شکل ۵۱





الاتجاه المعماري لأوجست بيريه
(شكل ٥٠) جراج على شارع بوغتيو بباريس
- ١٩٠٦ .
(شكل ٥١) مسرح الشانزليزيه - ١٩١١
- الواجهة كما نفذت .
(شكل ٥٢) كنيسة فوتردام دي رانسي بباريس -
سنة ١٩٢٢ - ٢٣ .



اتجاه أوجست بيريه في العمارة الصناعية
(شكل ٥٣) مصنع ملابس إسدير شارع
فليب - أوجست بباريس ١٩١٩ .
(شكل ٥٤) ستوديو رسم مناظر شارع أوليفيه
- مترا بباريس ١٩٢٣ .



شكل ٥٦

الاتجاه المعماري لأوجست بيريه

(شكل ٥٥) متحف

الأشغال العامة بباريس

سنة ١٩٣٨ - منظور

داخلي :

(شكل ٥٦) منظور

خارجي للمتحف.

(شكل ٥٧) عمارة

بشارع رينوارد

باريس - سنة

١٩٢٩ .

(شكل ٥٨) متحف

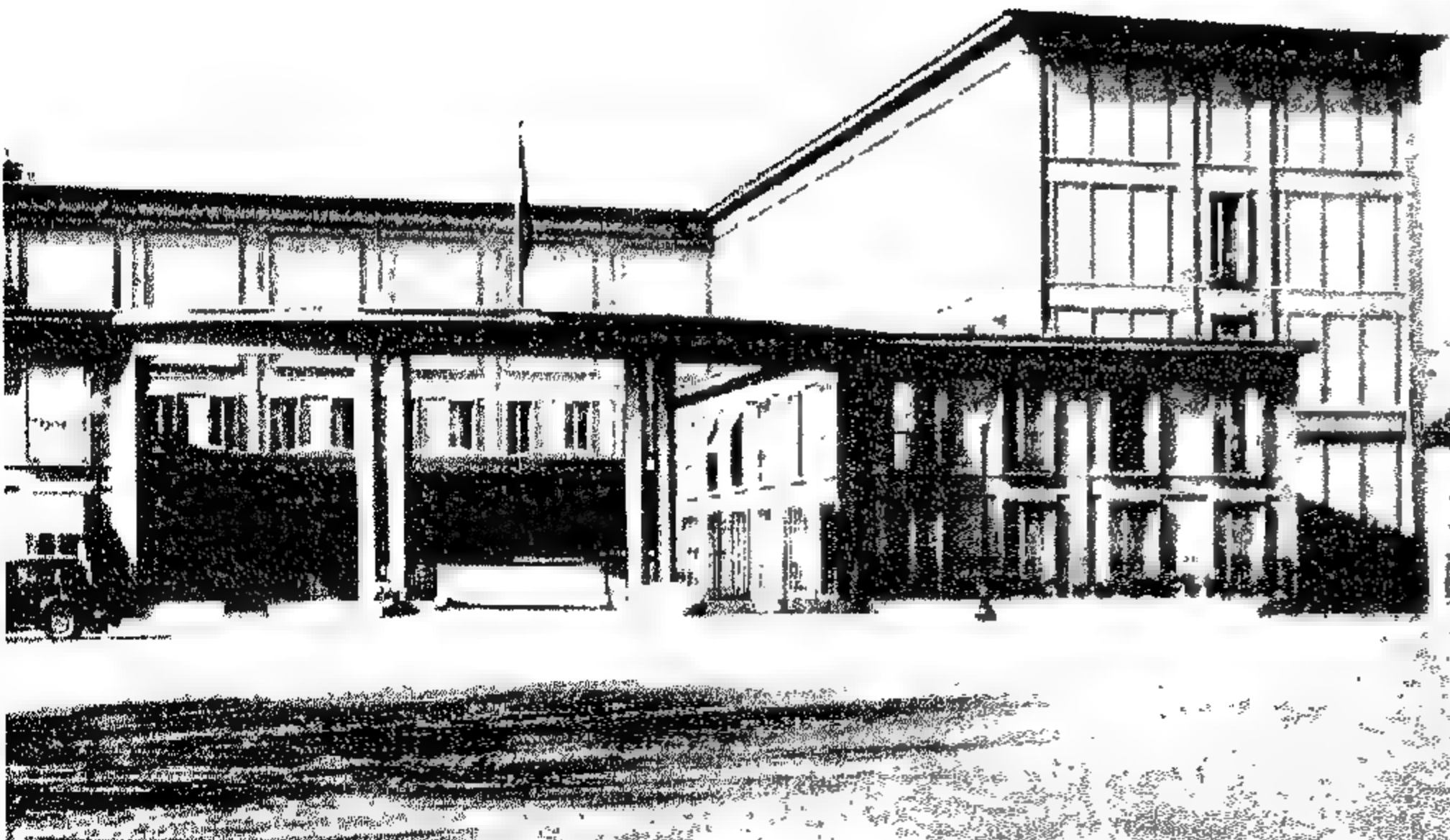
المويليا القوي -

واجهة أمامية

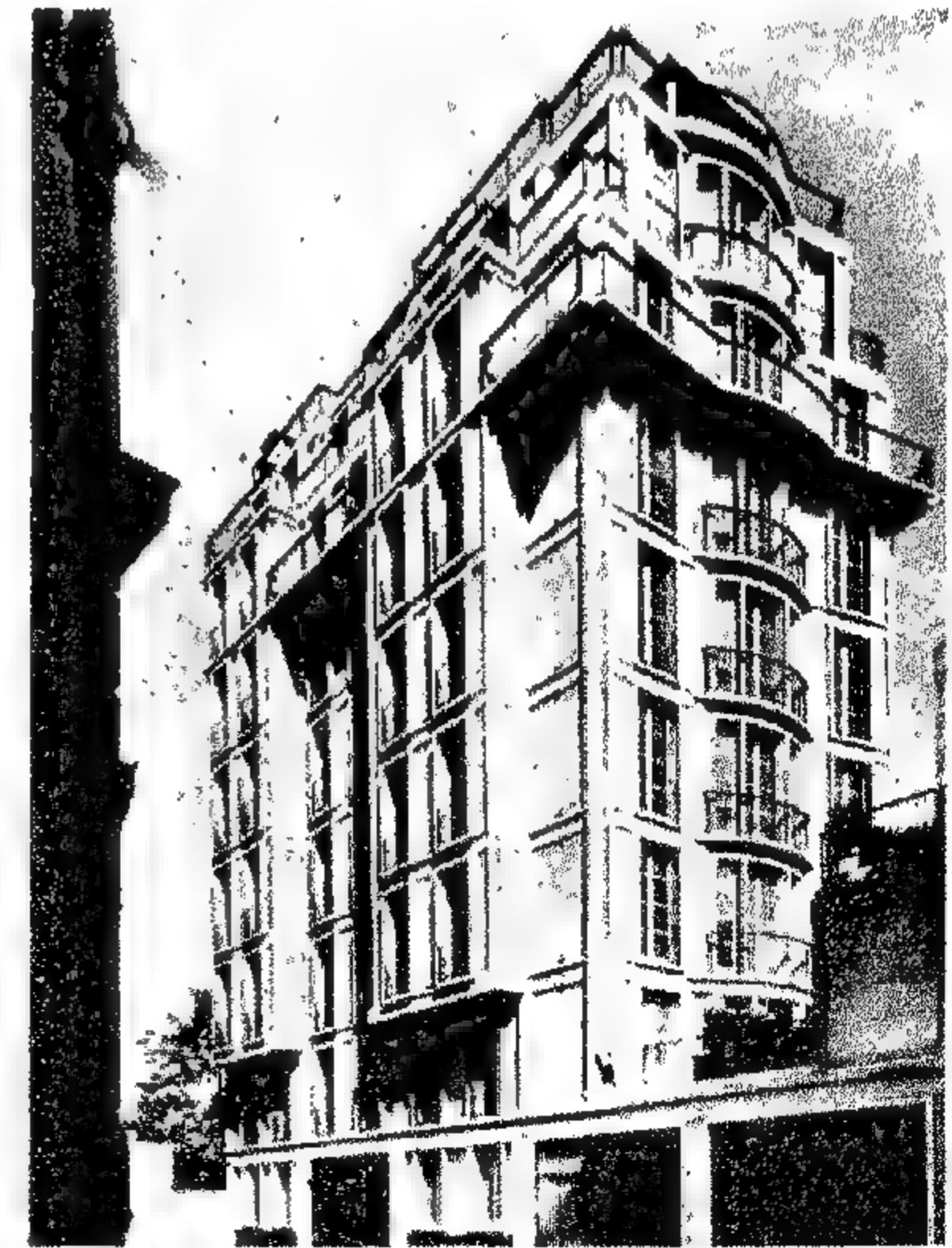
سنة ١٩٣٥ .



شكل ٥٥

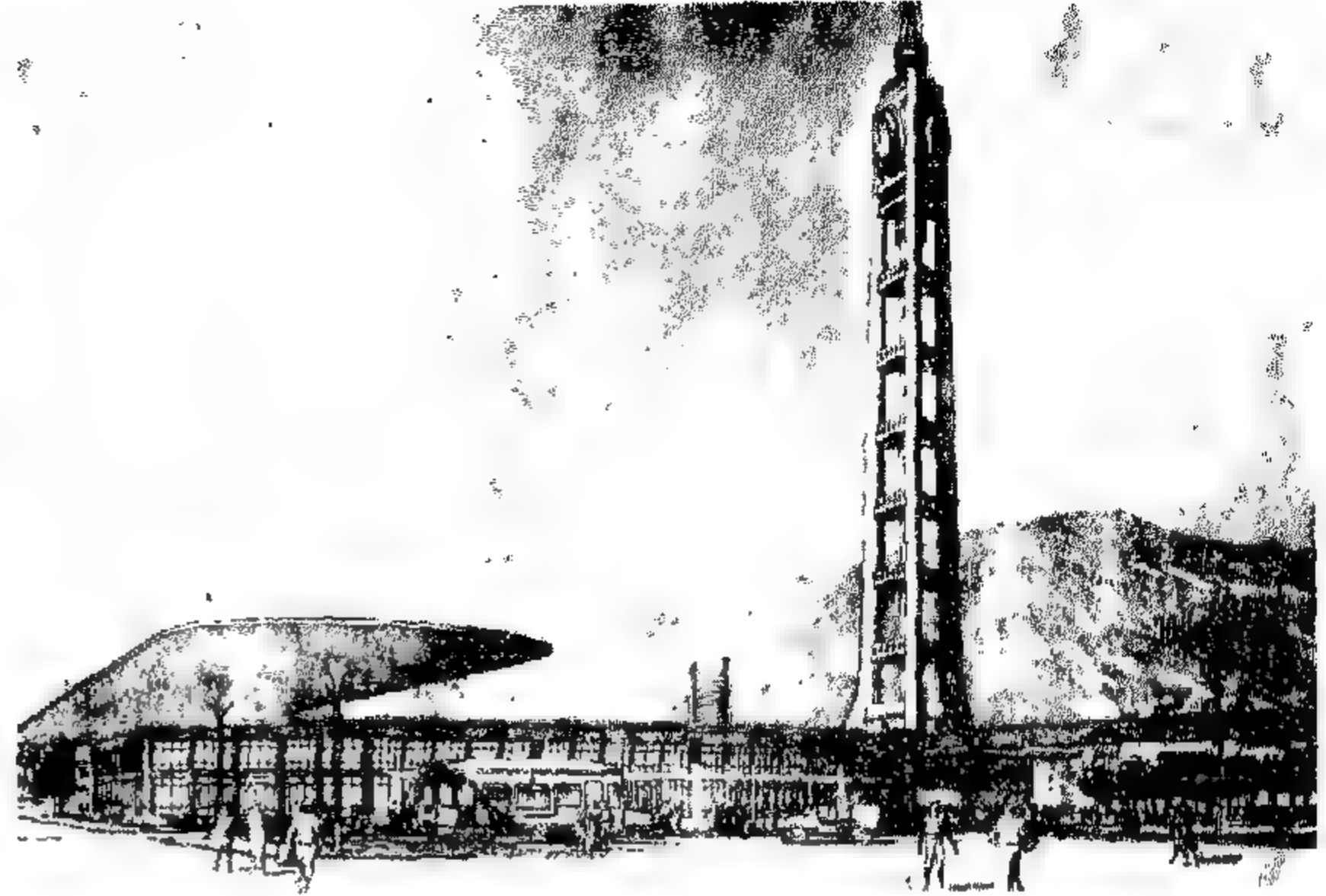


شكل ٥٨

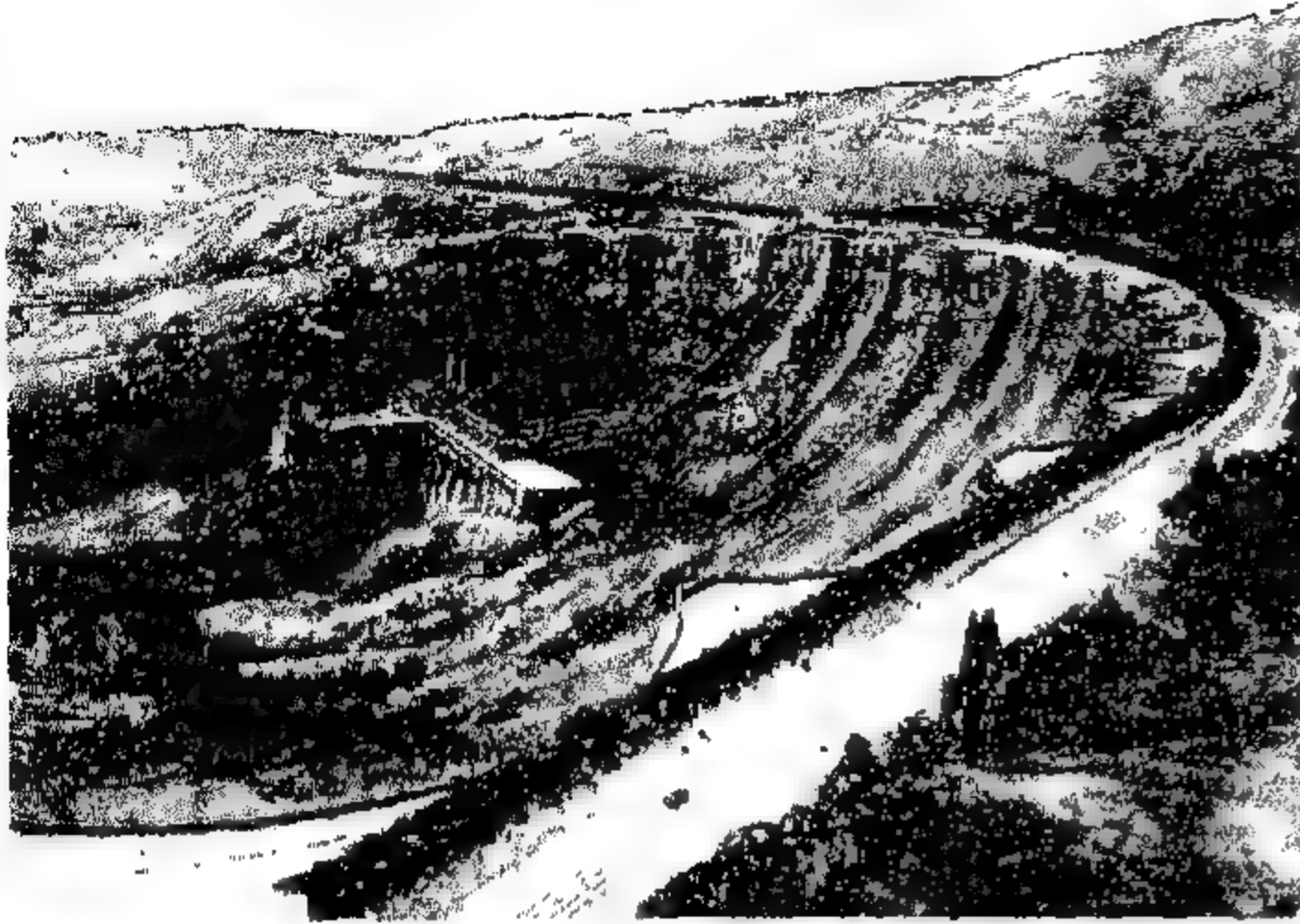


شكل ٥٧

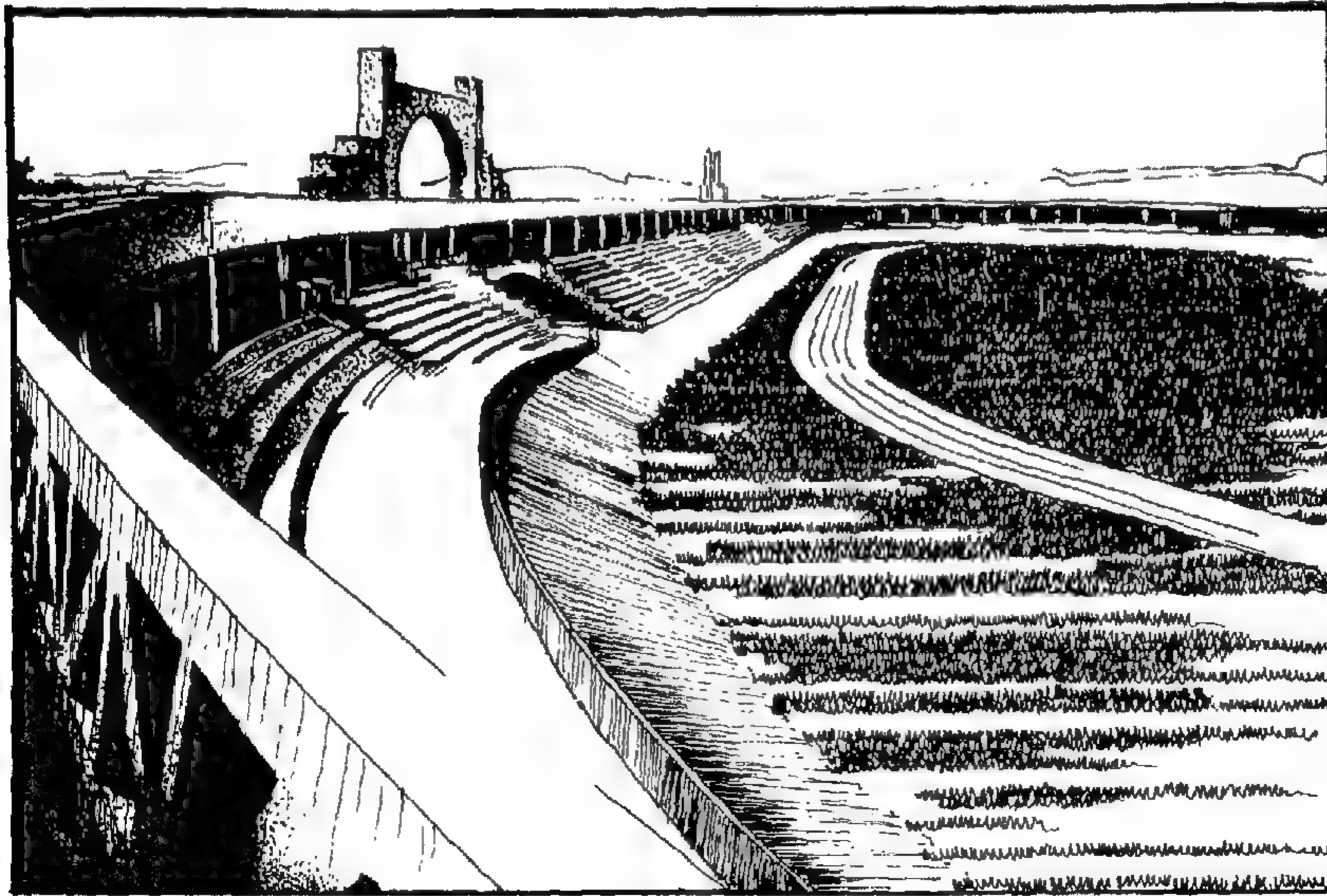
شكل ٥٩



شكل ٦٠



شكل ٦١



الاتجاه المعماري لتوفي جارية

(شكل ٥٩) تصميم
لمحطة سكك

حديدية بمشروعة
«المدينة الصناعية».

سنة ١٩٠١ - ٤

(شكل ٦٠) تصميم

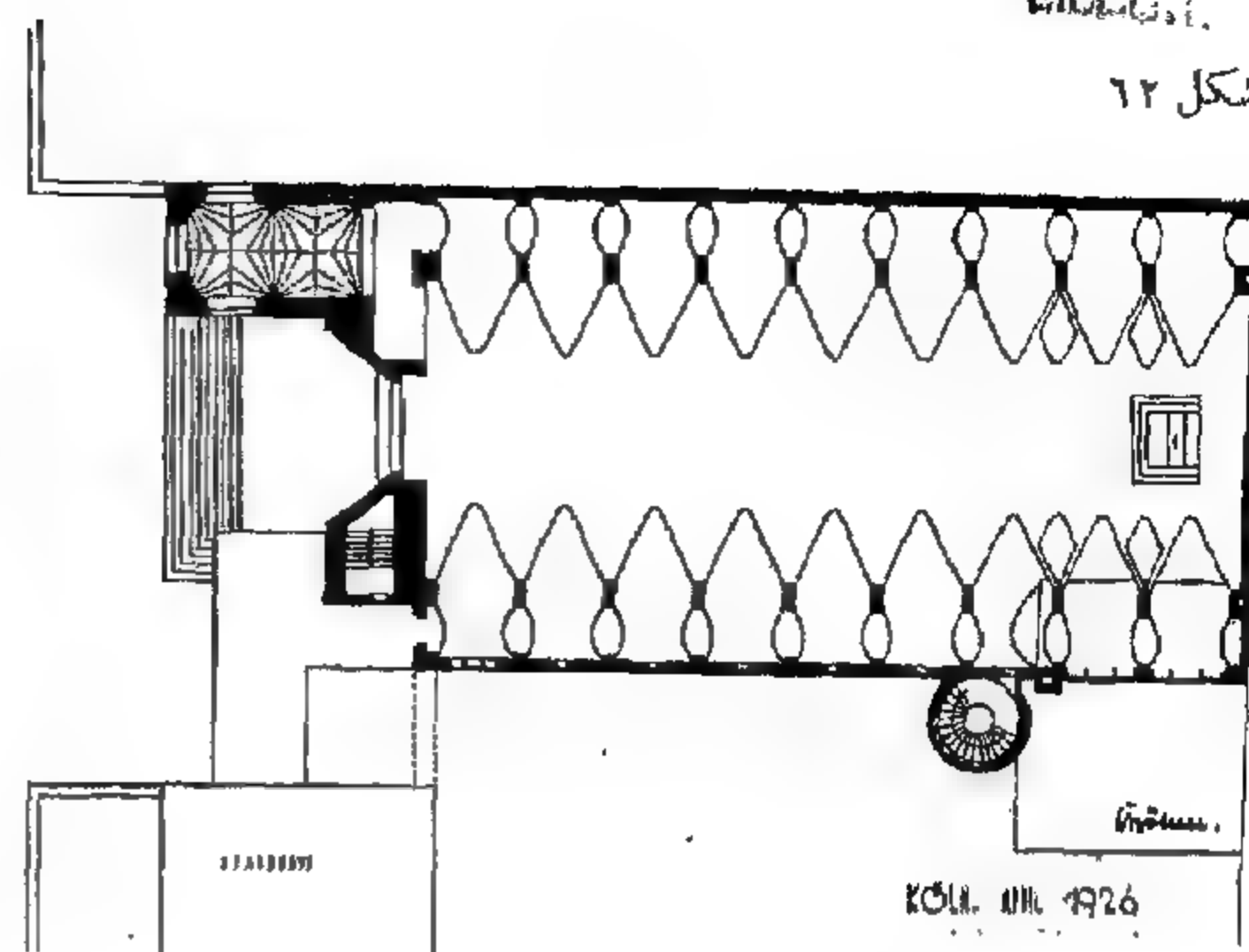
قناطر المياه
بالمدينة الصناعية

١٩٠١ - ٤ .

(شكل ٦١) استاد

رياضي بمدينة ليون

سنة ١٩١٠ .



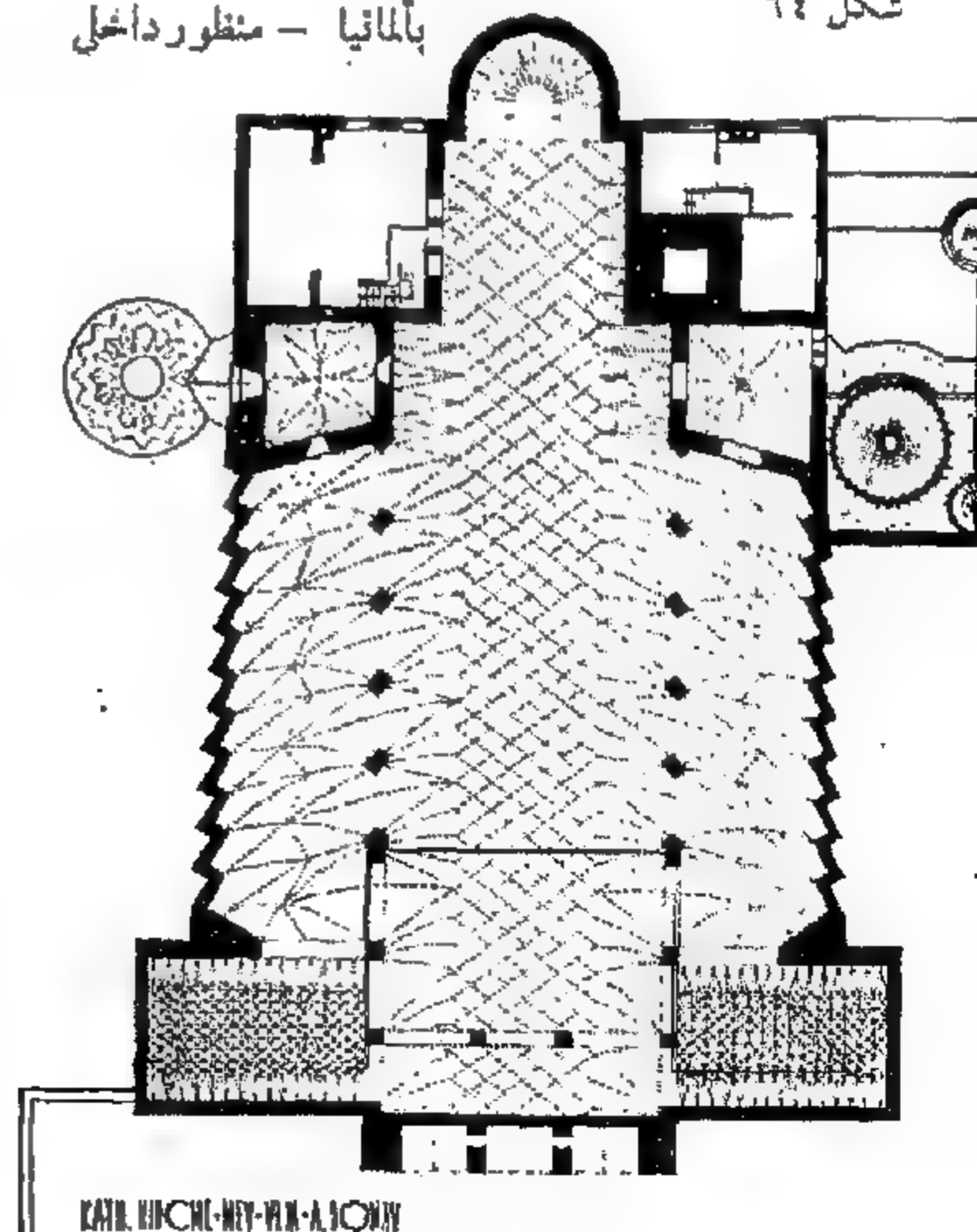
الاتجاه المعماري للدومينيكس بوم

(شكل ٦٢) الكنيسة الكاثوليكية في بيشوفشايم
بألمانيا .

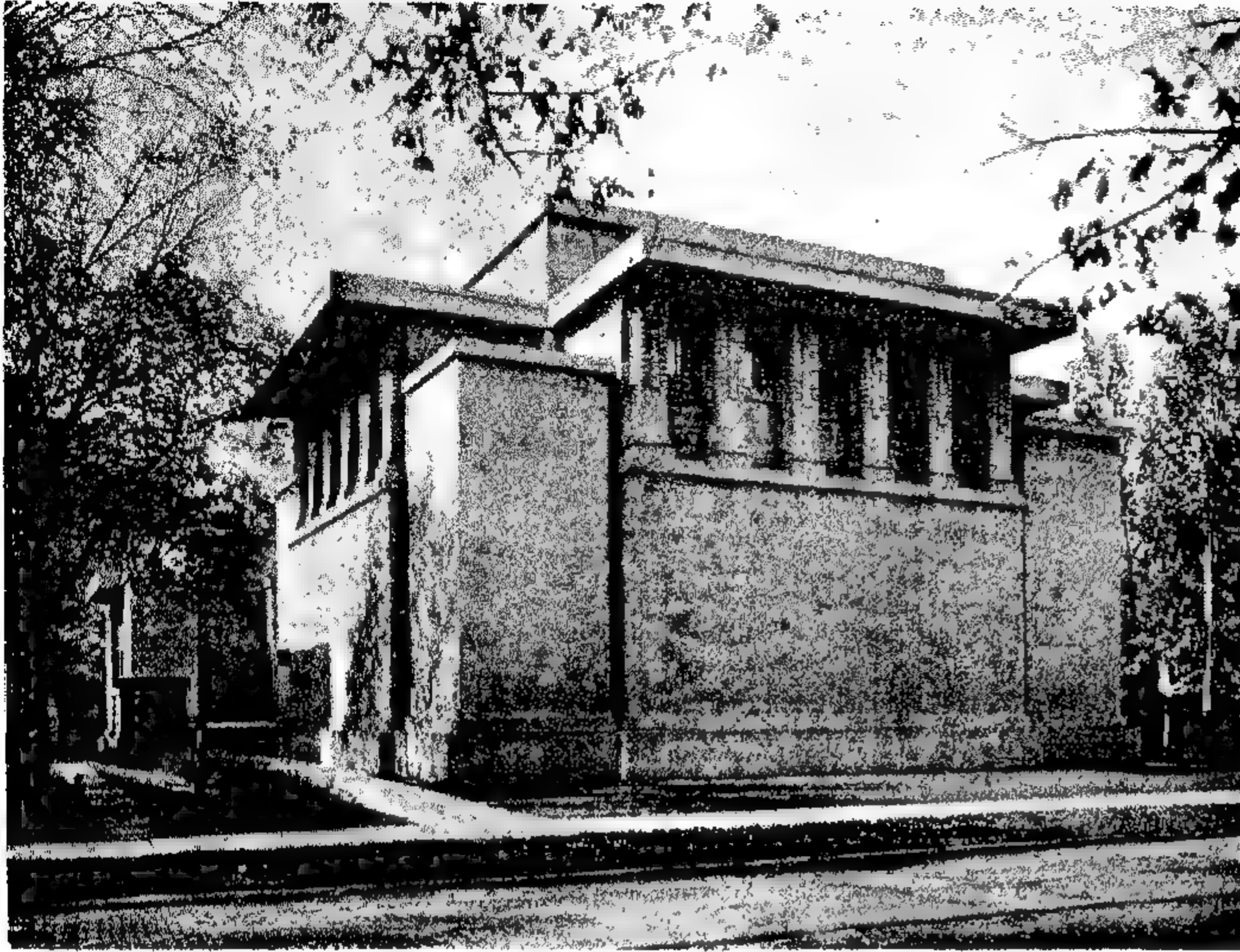
(شكل ٦٣) منظور داخلي بالكنيسة الكاثوليكية في بيشوفشايم بألمانيا .

(شكل ٦٤) كنيسة ذكرى الحرب فينيوالم
بألمانيا سنة ١٩٢٦ - مسقط .

(شکل ۶۵) کنیسه ذکرى الحرب فى نيوانم
بألمانيا - منظور داخلى



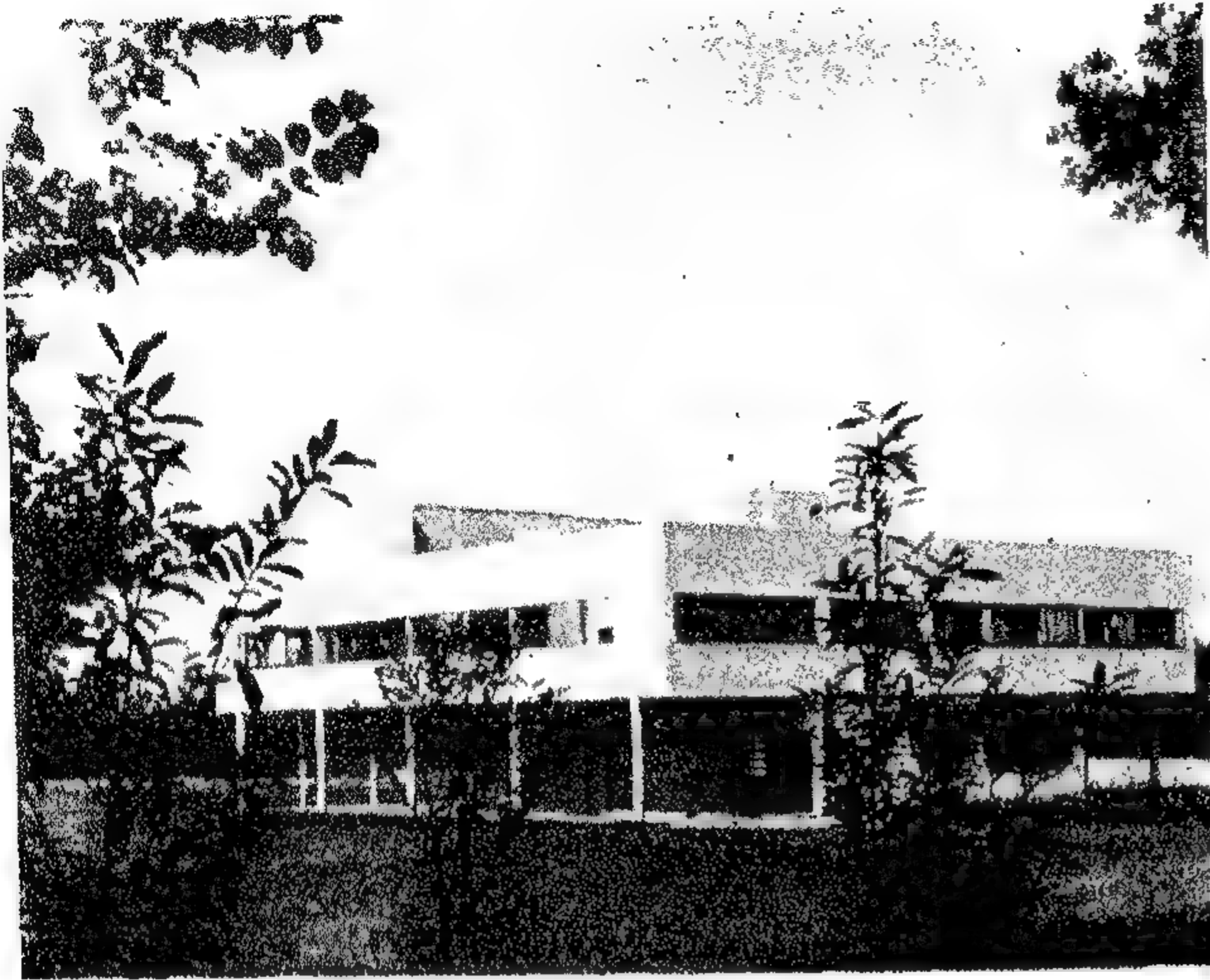
شكل ٦٦



شكل ٦٧



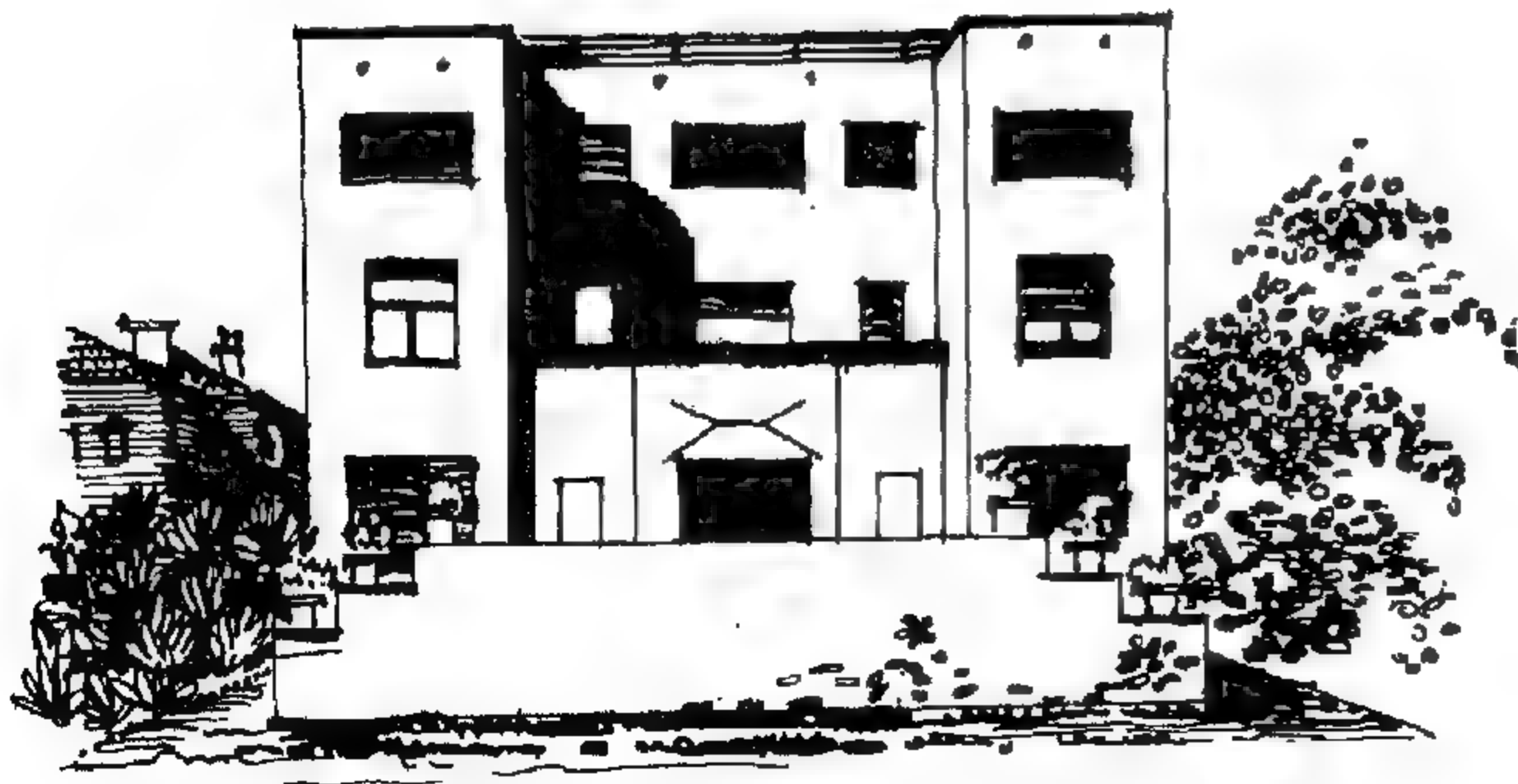
اتجاهات معمارية خاصة بالحرسنة
(شكل ٦٦) معبد يونثي في أرك برك الينوي
سنة ١٩٠٦ - المهندس فرانك لويد رايت .
(شكل ٦٧) مبنى جنوينايم في دورناك بمدينة
باسل (١٩٢٥-٨) بسويسرا-المعماري شتاينر .



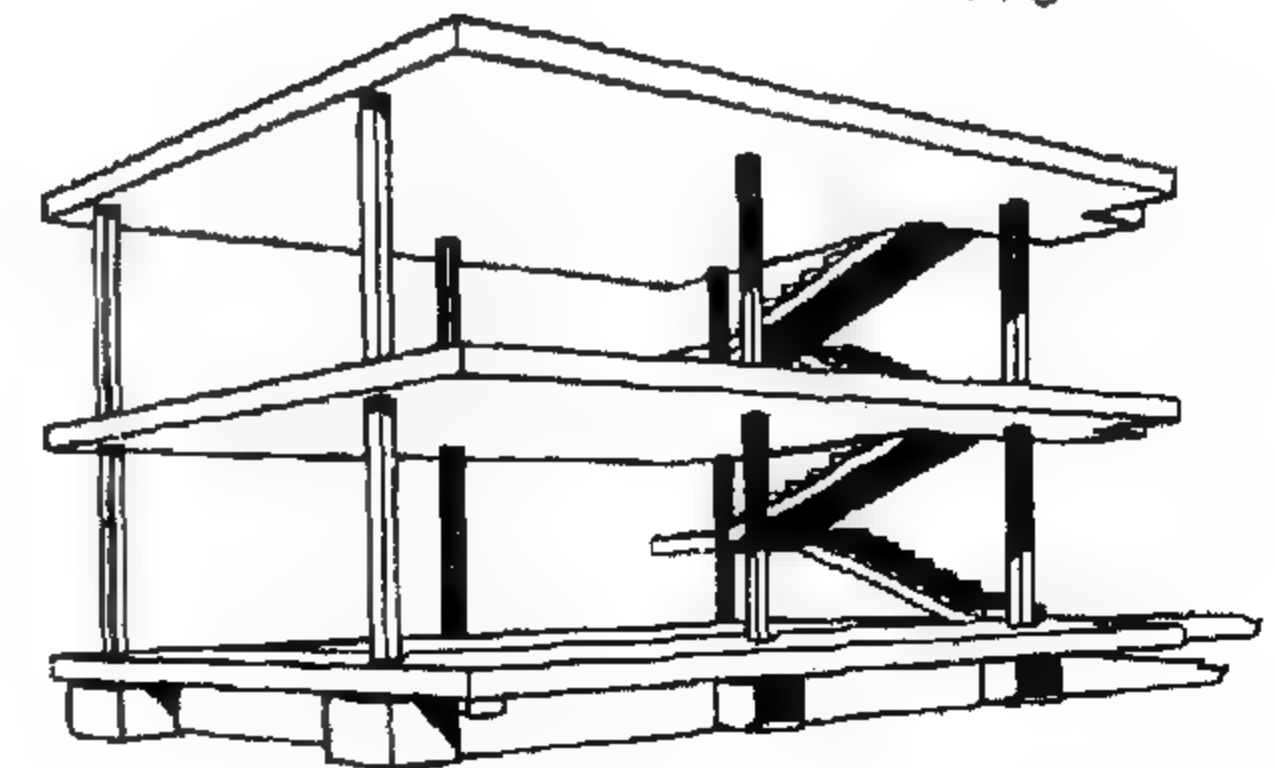
شكل ١

اتجاهات معمارية خاصة

- (شكل ٦٨) فيلا ساقوي ١٩٢٩ - ٣٠ - المهندس
لوكوربوزييه ، بواسي على السين - فرنسا .
(شكل ٦٩) الإنشاء الخرساني بالعمود والبلاطة لمنازل
دوم - إينو المهندس لوكوربوزييه ١٩١٤ .
(شكل ٧٠) منزل ستاينر ١٩١٠ - المهندس أدولف لوس .

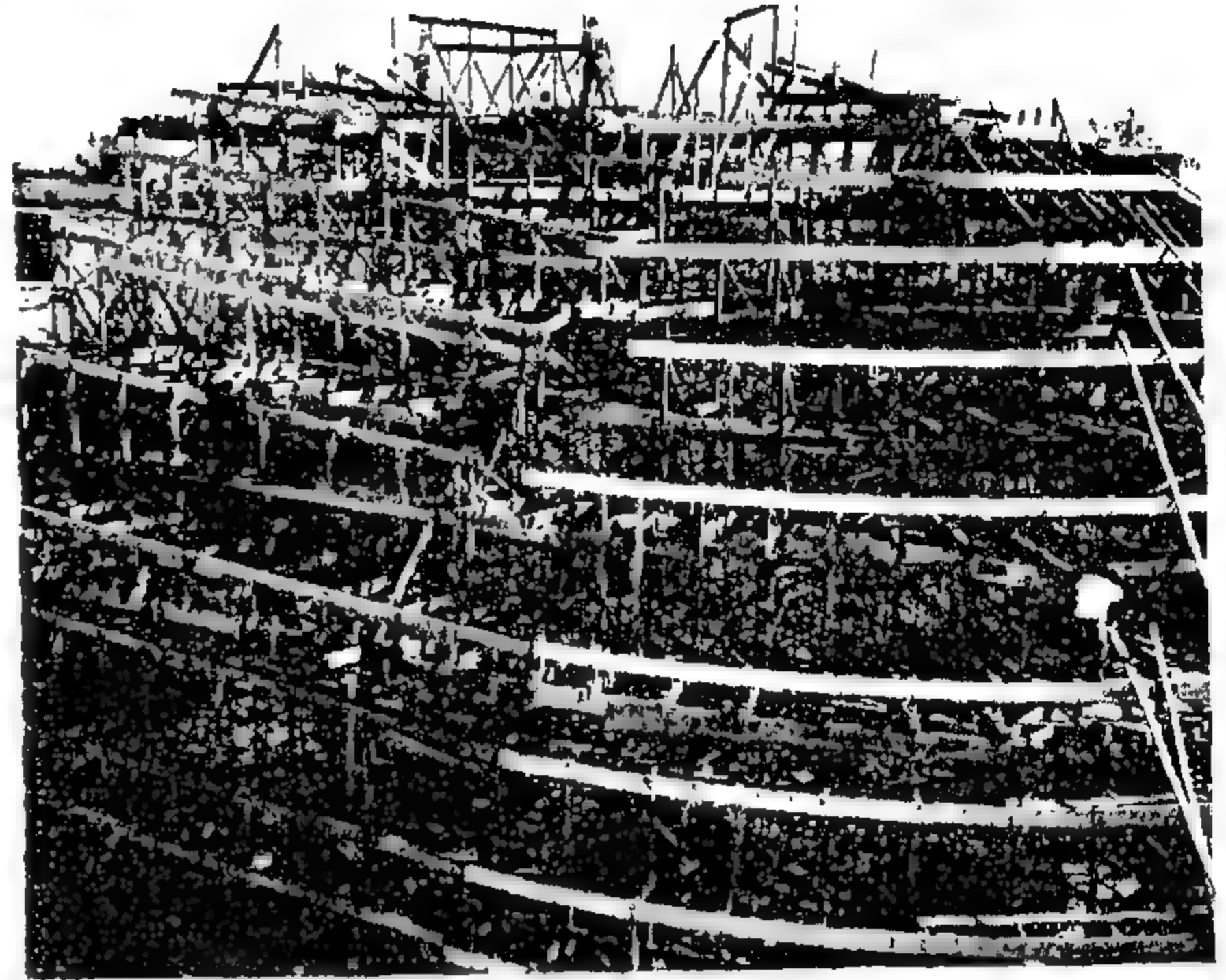


شكل ٧٠

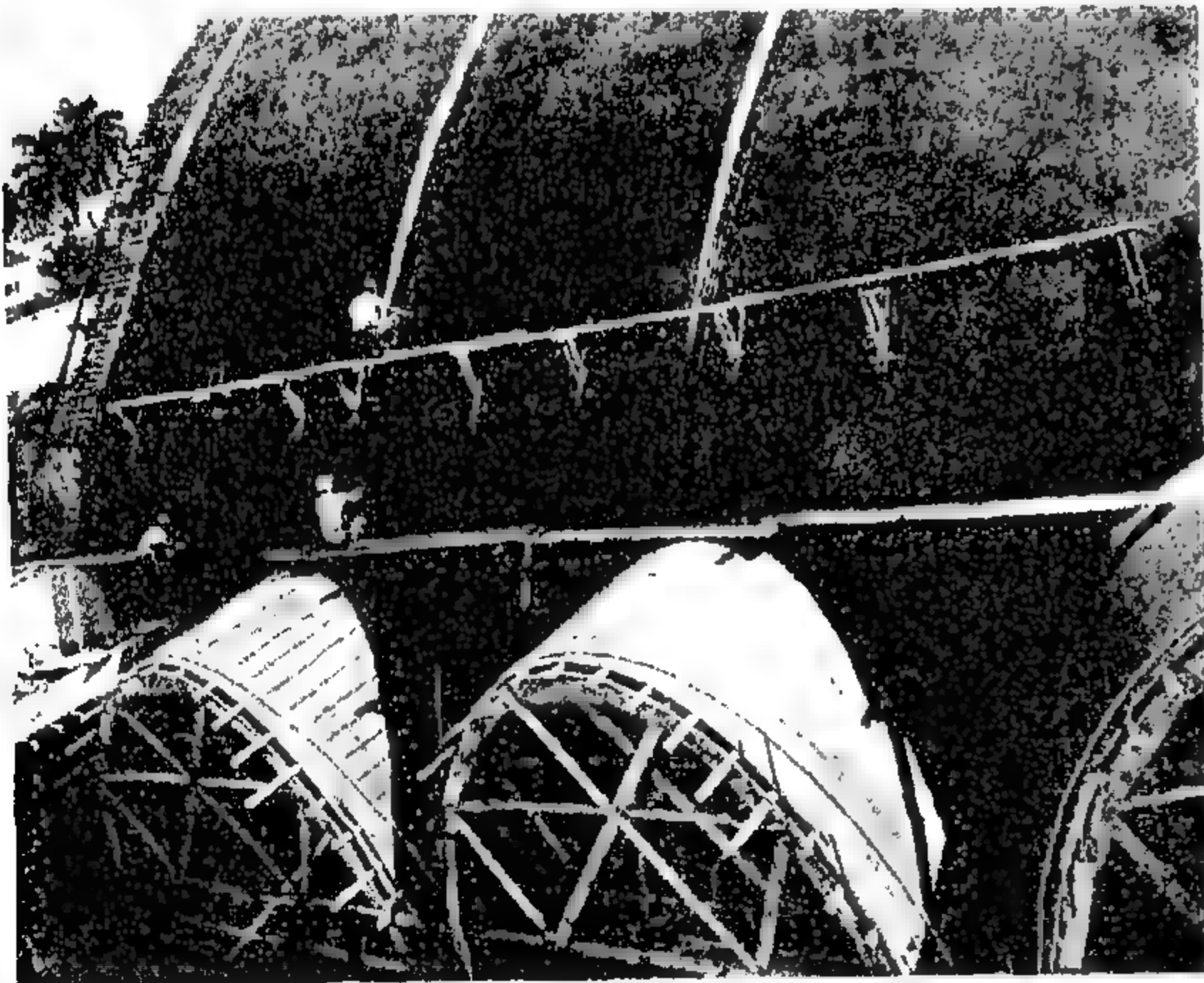
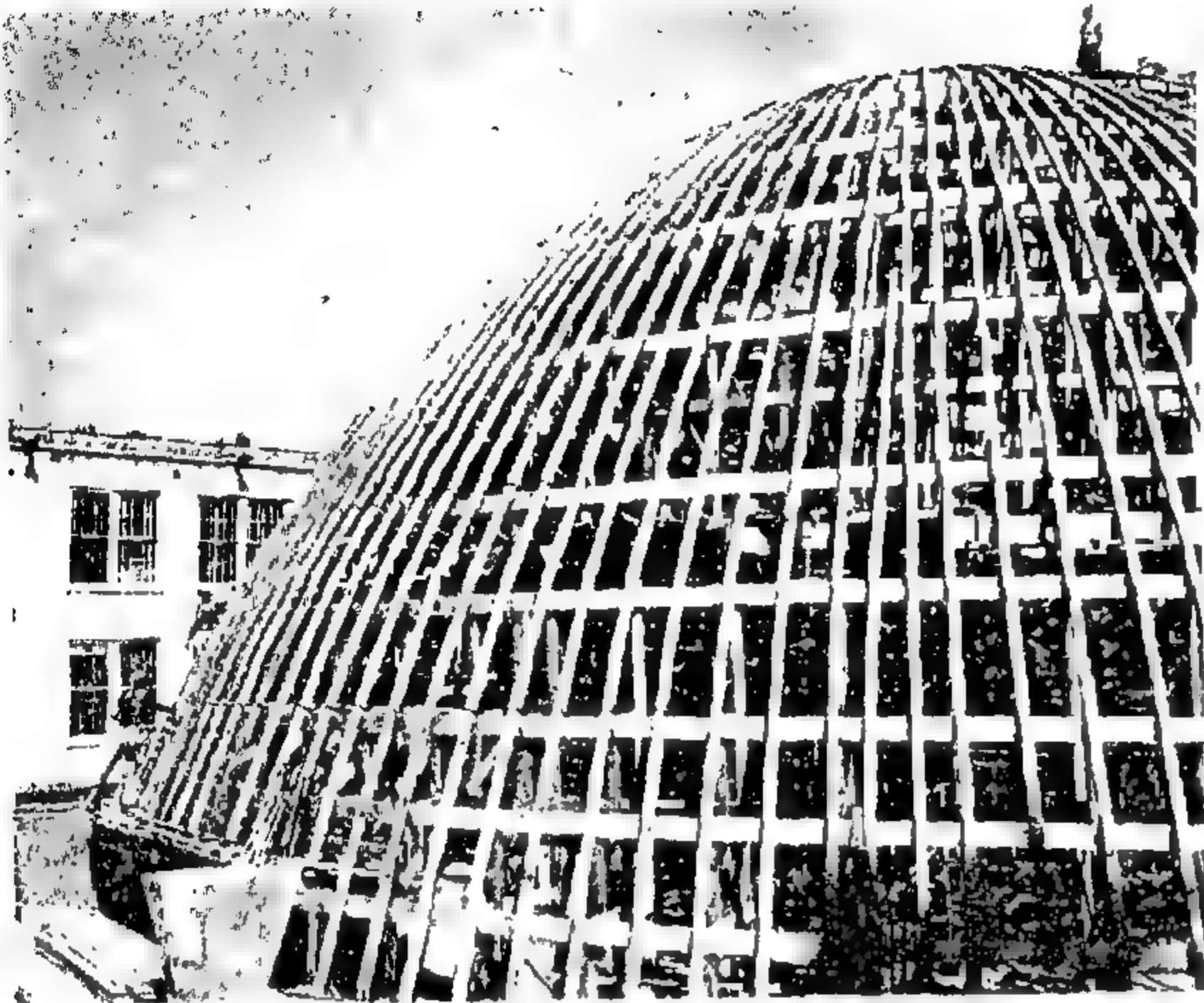


شكل ٦٩

شكل ٧١



شكل ٧٢



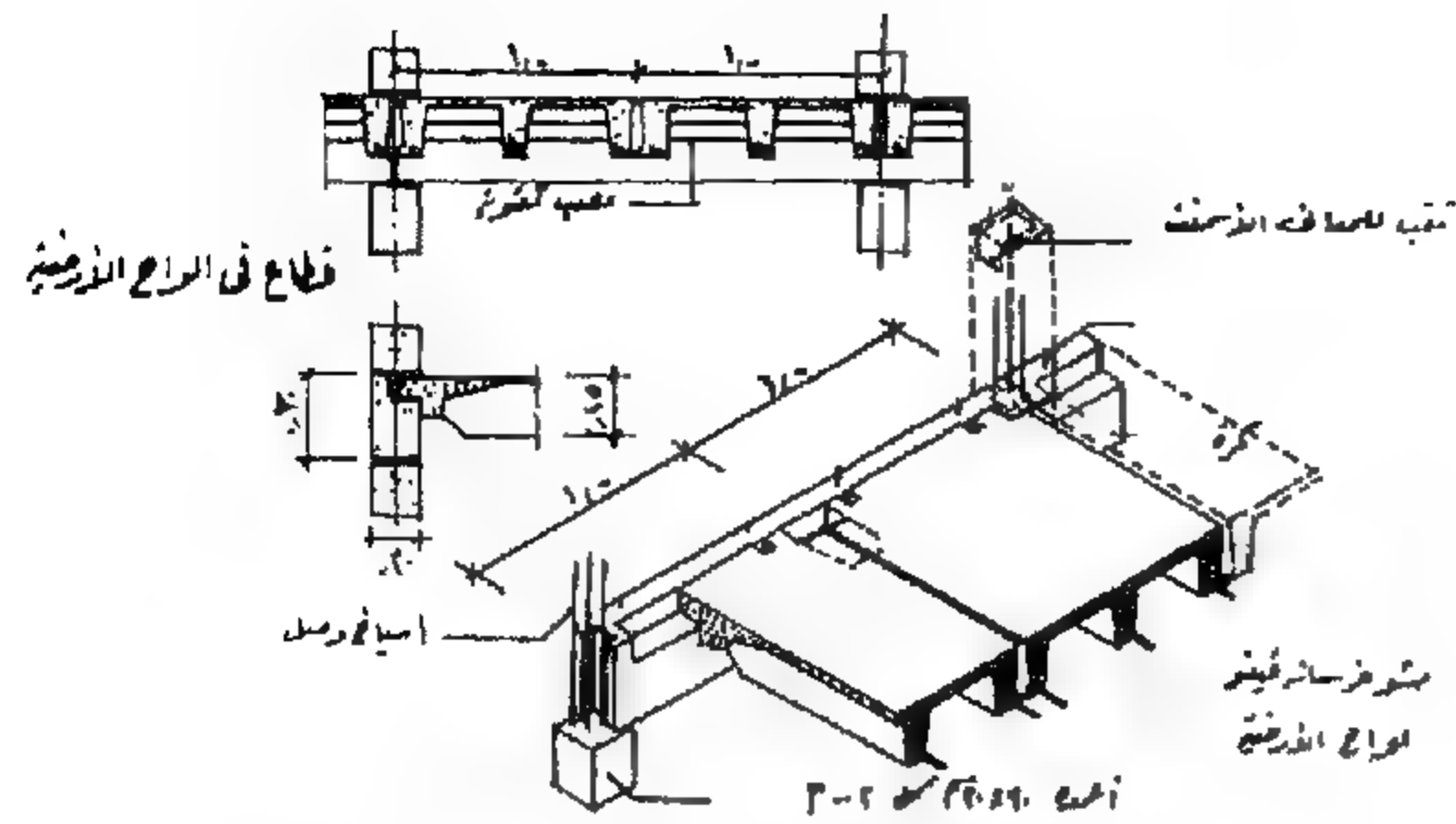
شكل ٧٤



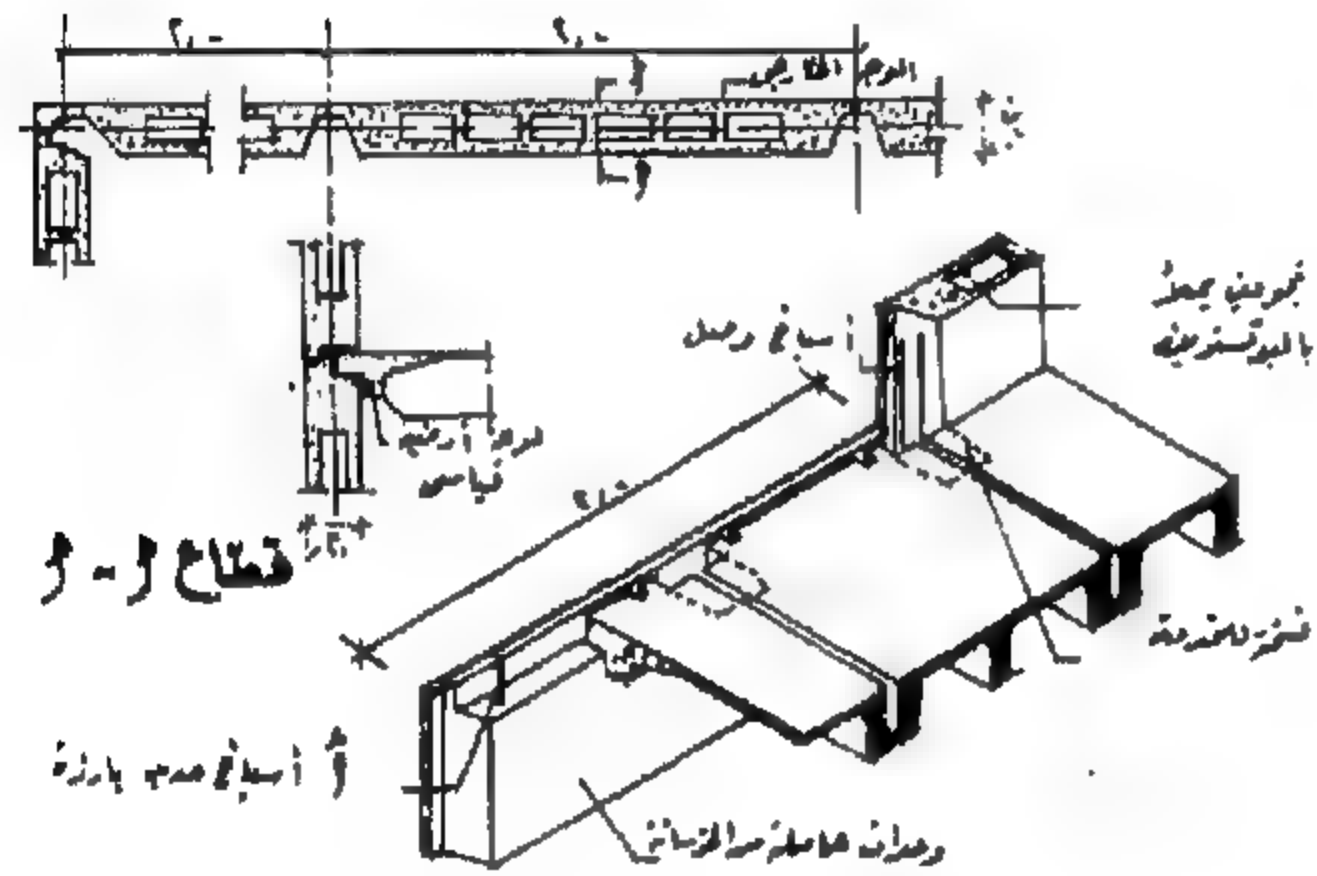
شكل ٧٣

إقامة الصلبيات التقليدية المعقدة

(أشكال ٧١ - ٧٤) المراحل المتتالية في إقامة الصلبيات للصدفة القشرية على شكل نصف قبة في معبد بيت شولوم بميامي فلوريدا - المعماري بيرسيغال جودمان .



شكل ٧٥



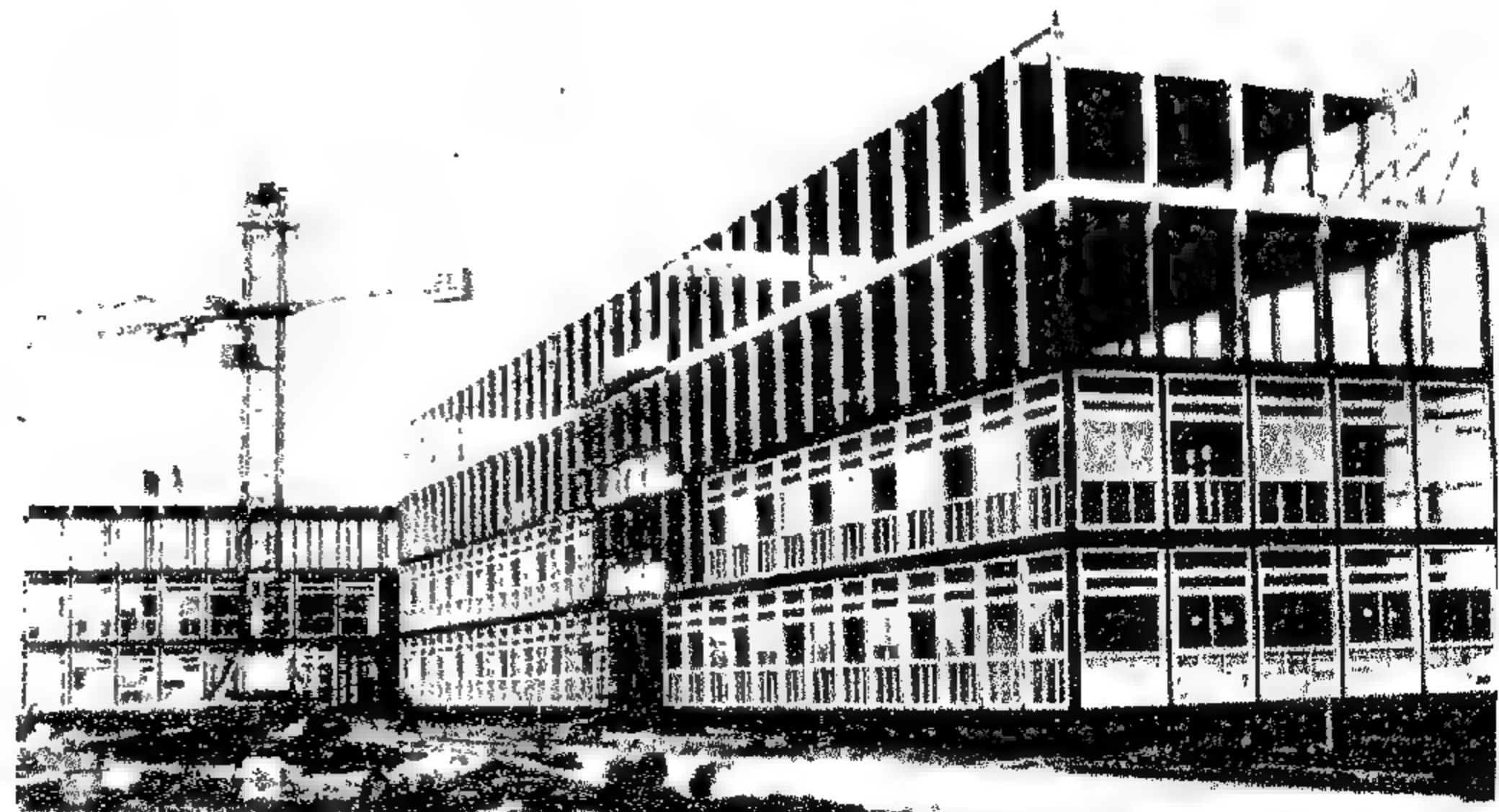
سبق التجهيز - الإنشاء الهيكلي

طريقة G-80 إنجلترا

(شكل ٧٥) - قطاعات ومساقط في الإنشاء بالأعمدة وبالحوائط الحاملة.

(شكل ٧٦) مبنى مكاتب شركة رولز رويس بدري بعد انتهاء الإنشاء وتجميع حوائط دورين في أقل من ثلاثة أشهر.

شكل ٧٦



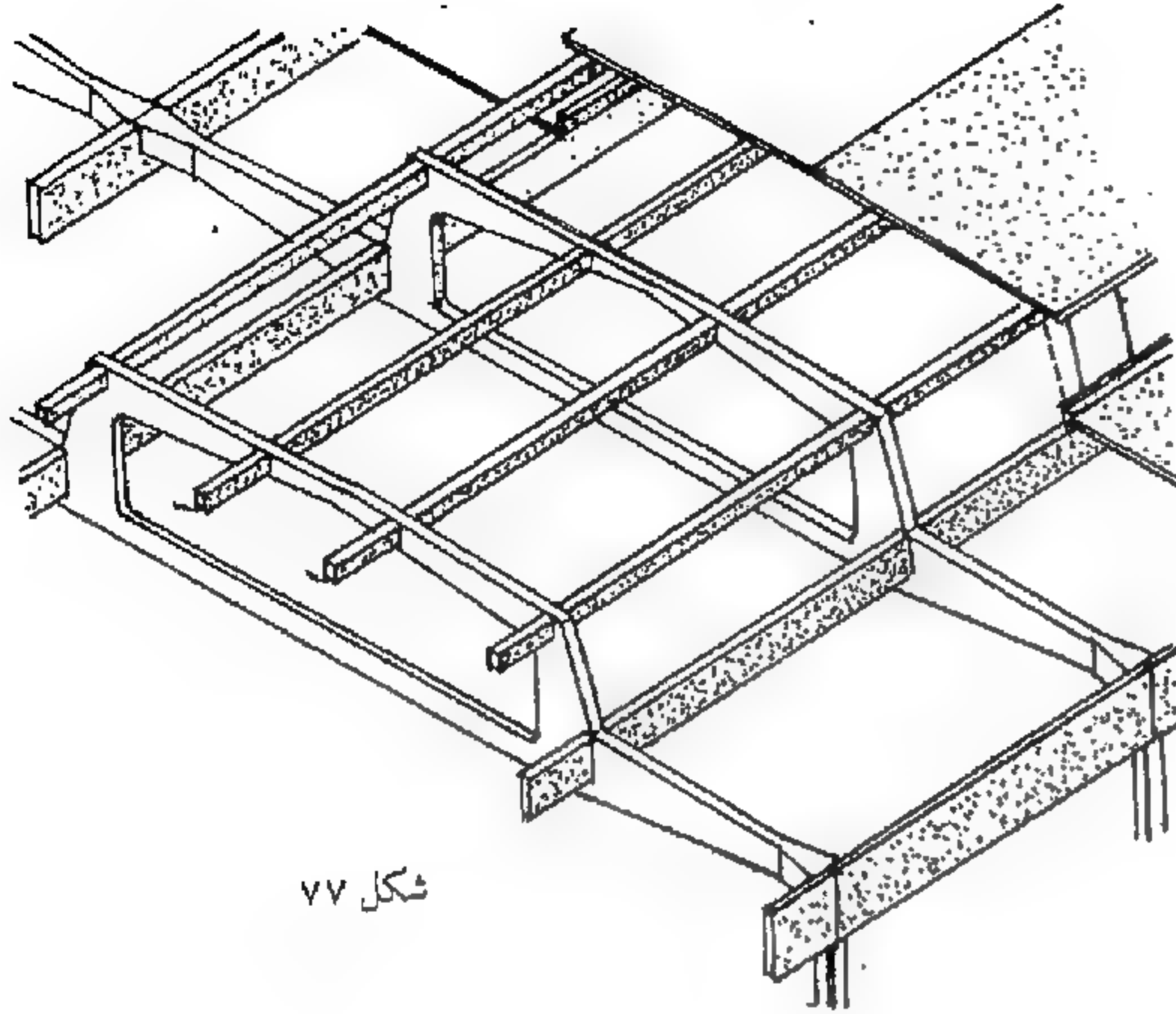
سبق التجهيز - الإنشاء الهيكل

طريقة أنتر جريد - إنجلترا

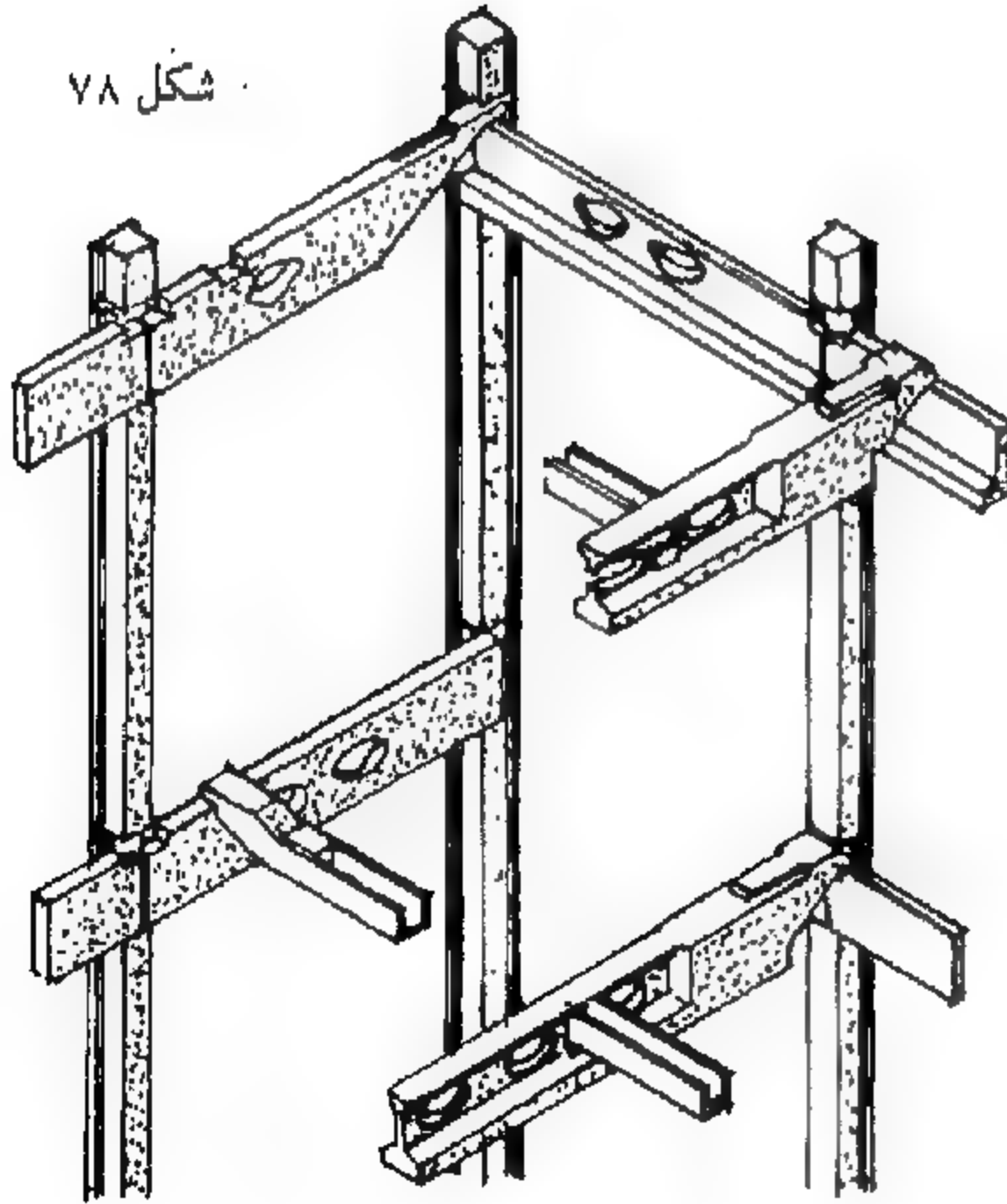
(شكل ٧٧) سقف خرساني بإضاءة علوية يصلح لبحور حتى ٣٠ مترا بوحدة سابقة الإجهاد مجمعة على الموقع .

(شكل ٧٨) منظور للهيكل من أعمدة وكرات رئيسية وثانوية .

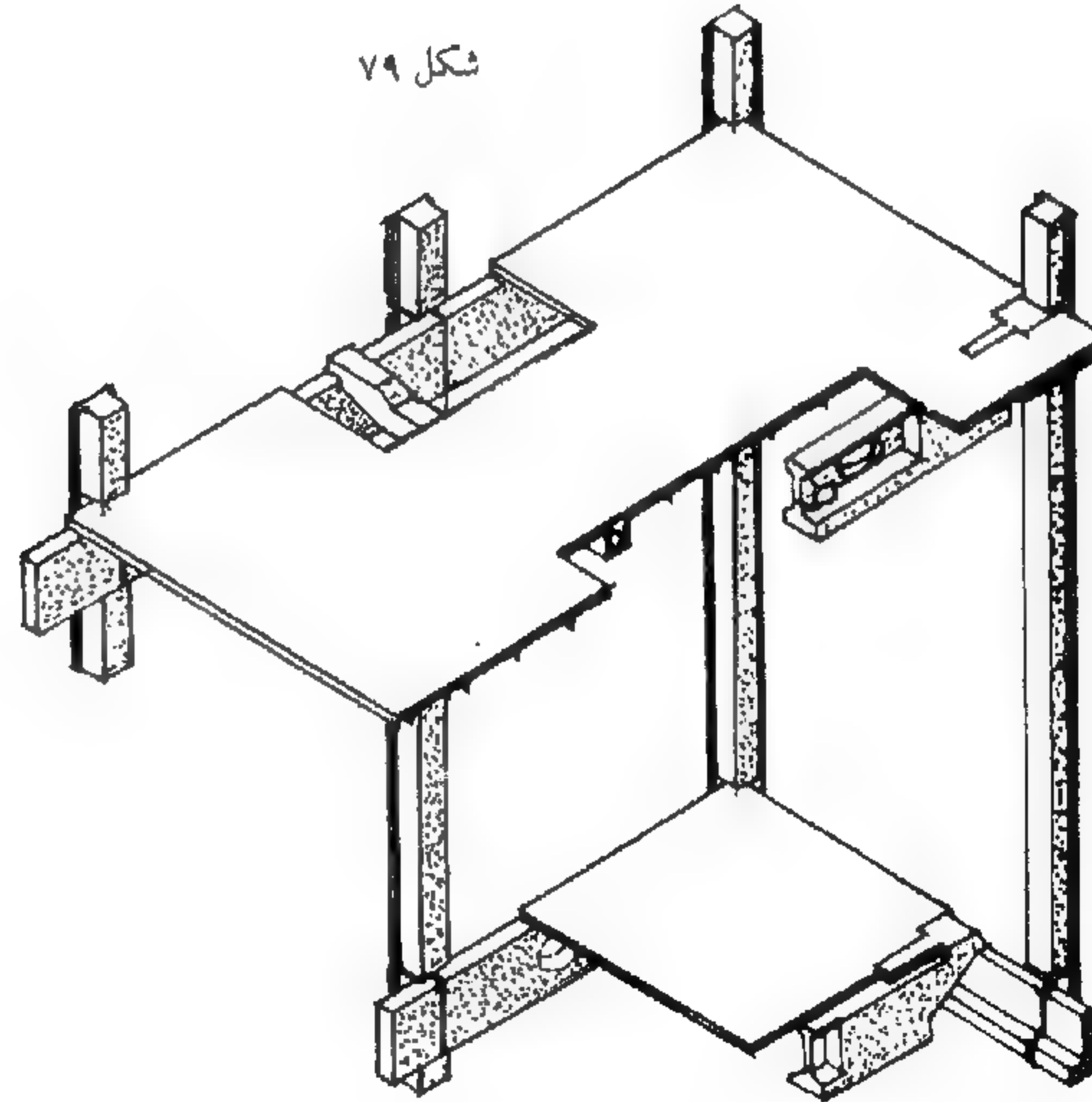
(شكل ٧٩) منظور للهيكل وفوقه البلاطة الجاهزة أو المصبوبة على الموقع .



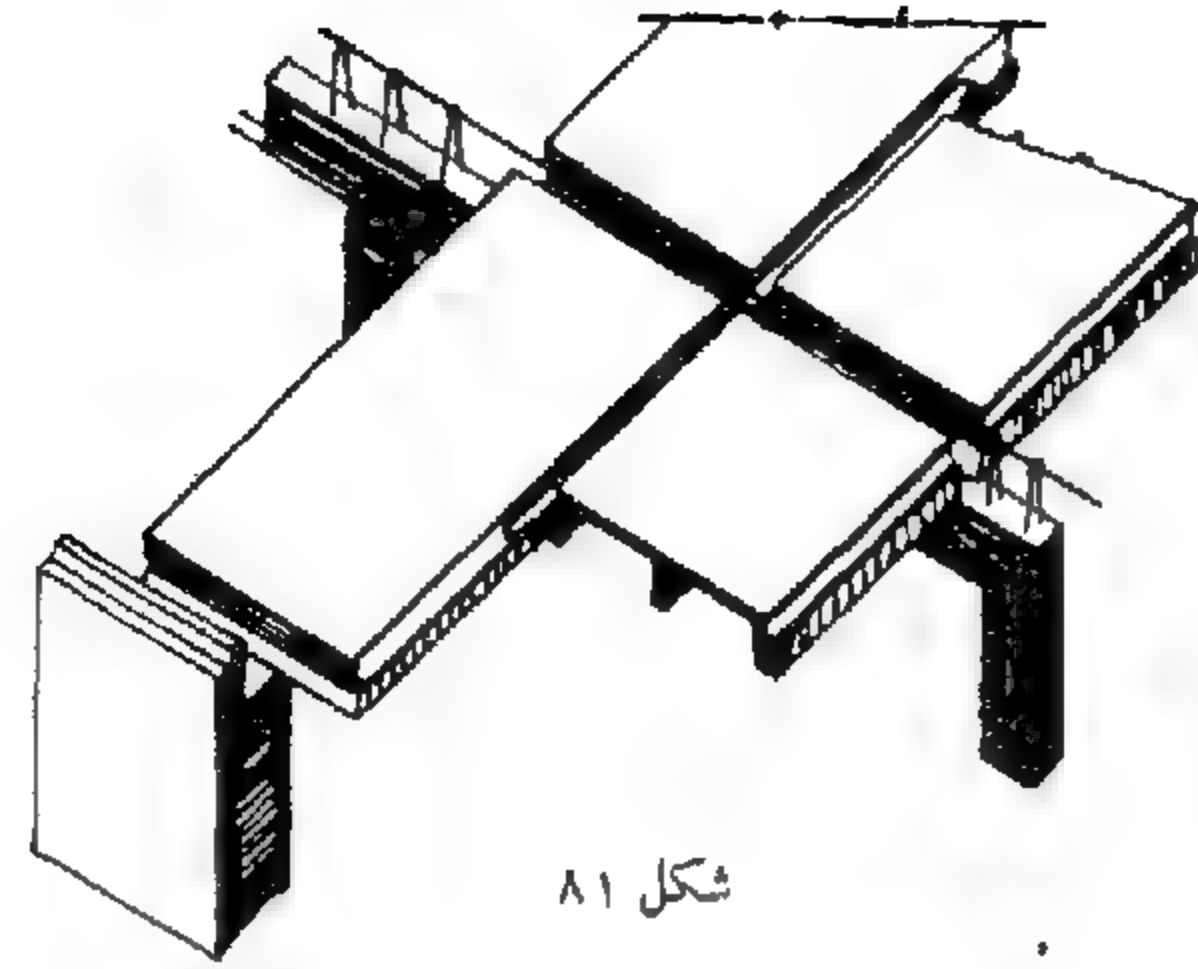
شكل ٧٧



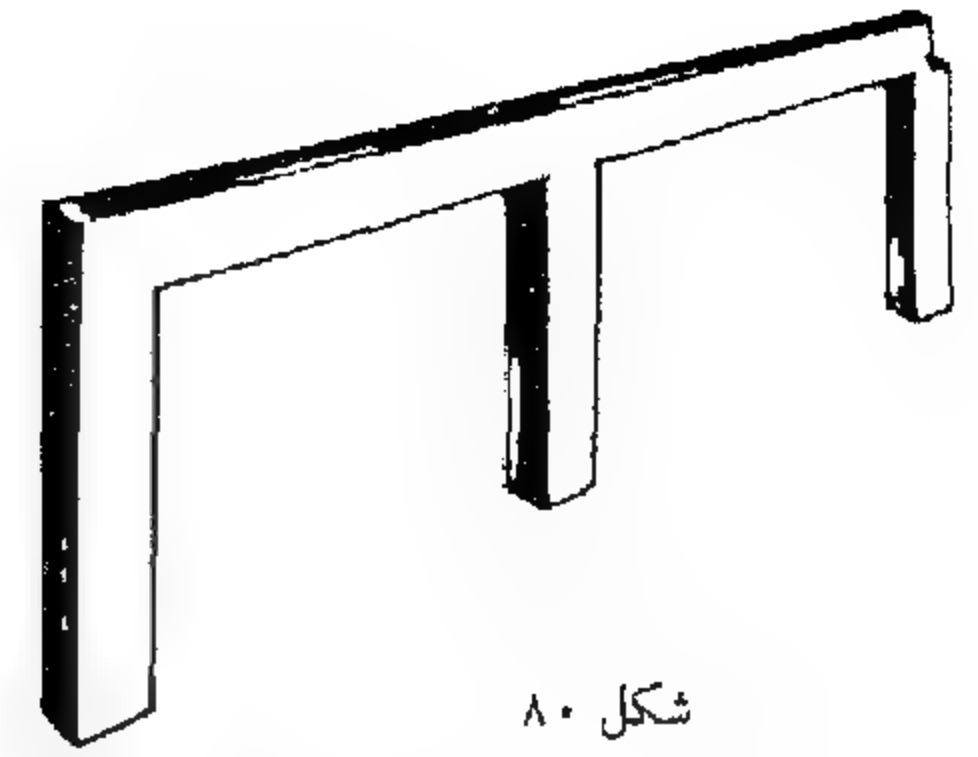
شكل ٧٨



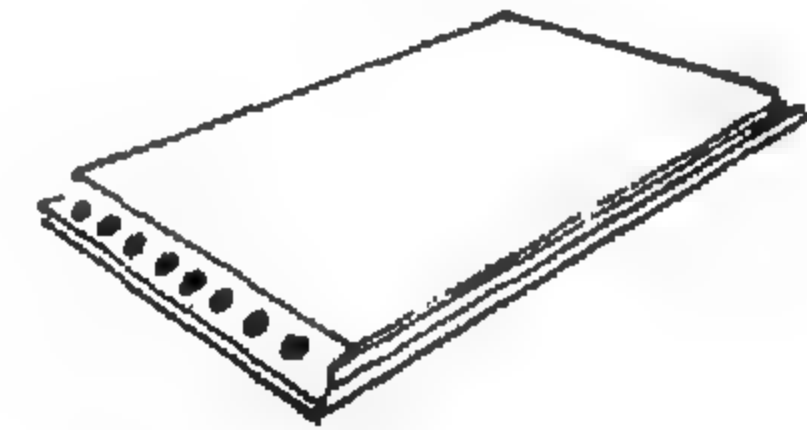
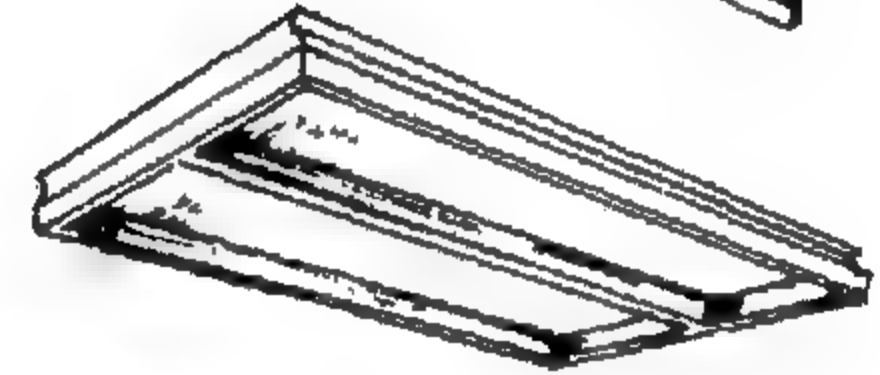
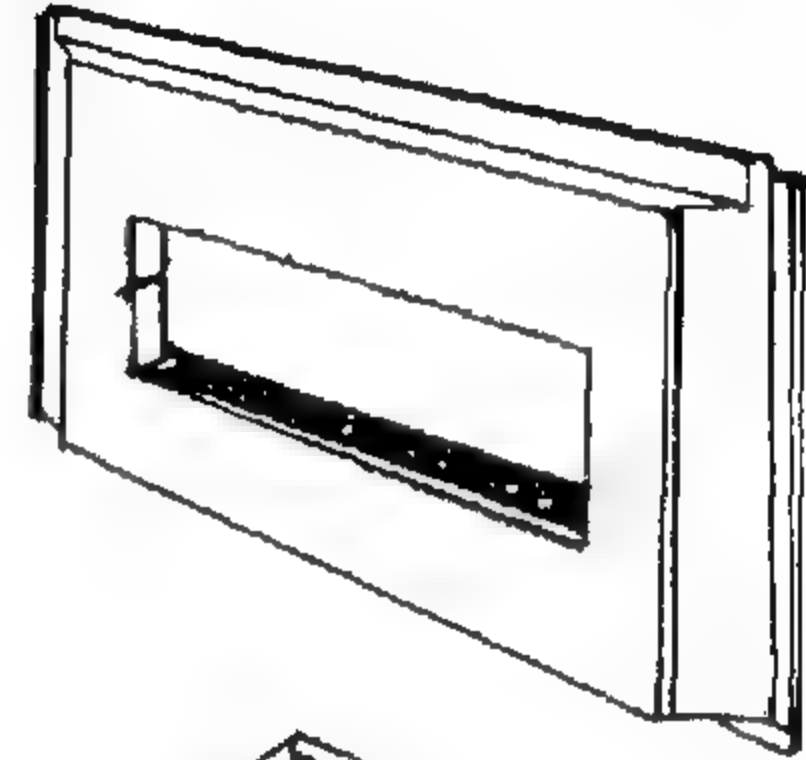
شكل ٧٩



شكل ٨١



شكل ٨٠



سبق التجهيز - الإنشاء الهيكلي

طريقة باريتس - فرنسا

(شكل ٨٠) مجموعة وحدات من هياكل وحوائط خارجية
حاملة وأسقف مصلعة .

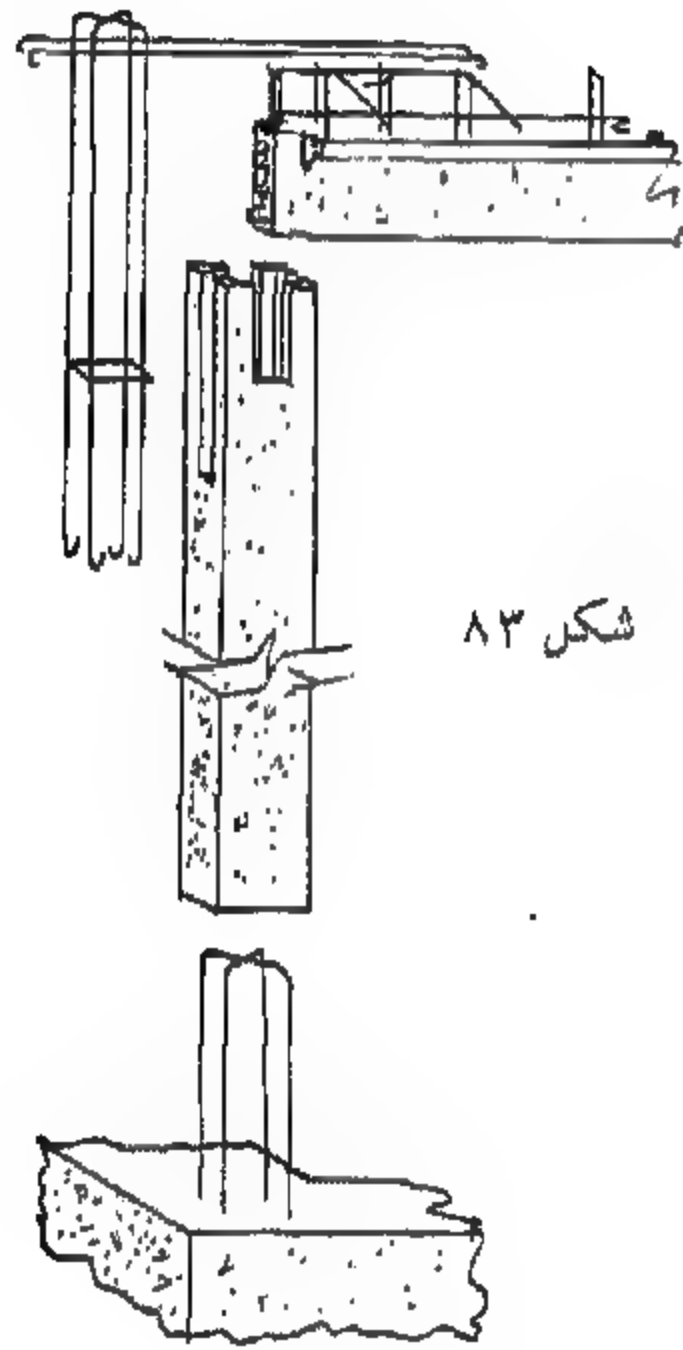
(شكل ٨١) منظور لوحدة مجمعة .

طريقة ستركتورايد - إيطاليا

(شكل ٨٢) امتداد حديد التسليح من الأعمدة والكمرات

لإيصالها بأعمدة الأدوار التالية بيناتوهات السقف .

(شكل ٨٣) تفصيلة لا اتصال الأعمدة بالكمرات بالأساس .



شكل ٨٣



سبق التجهيز - الإنشاء بالحوائط الحاملة

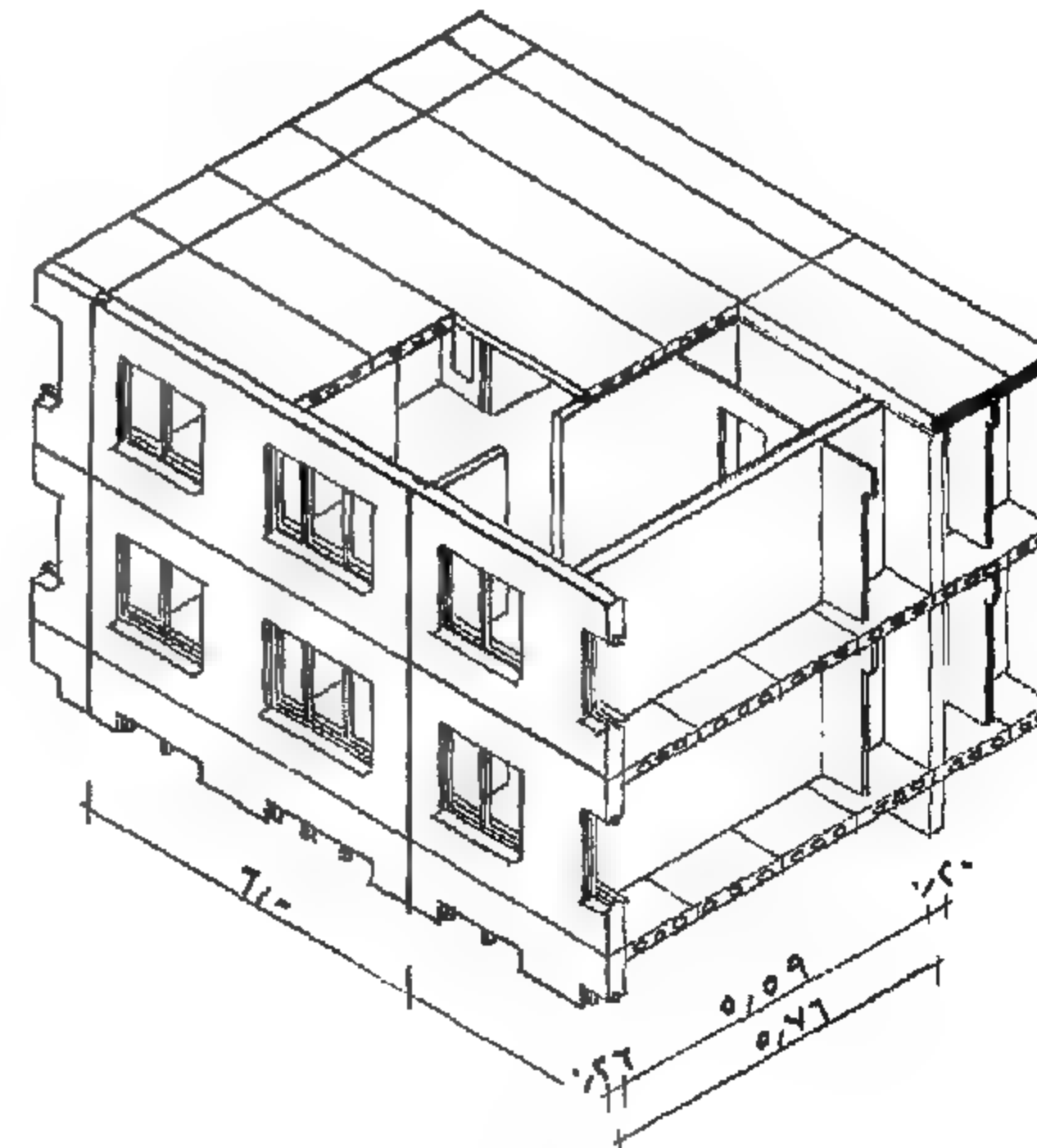
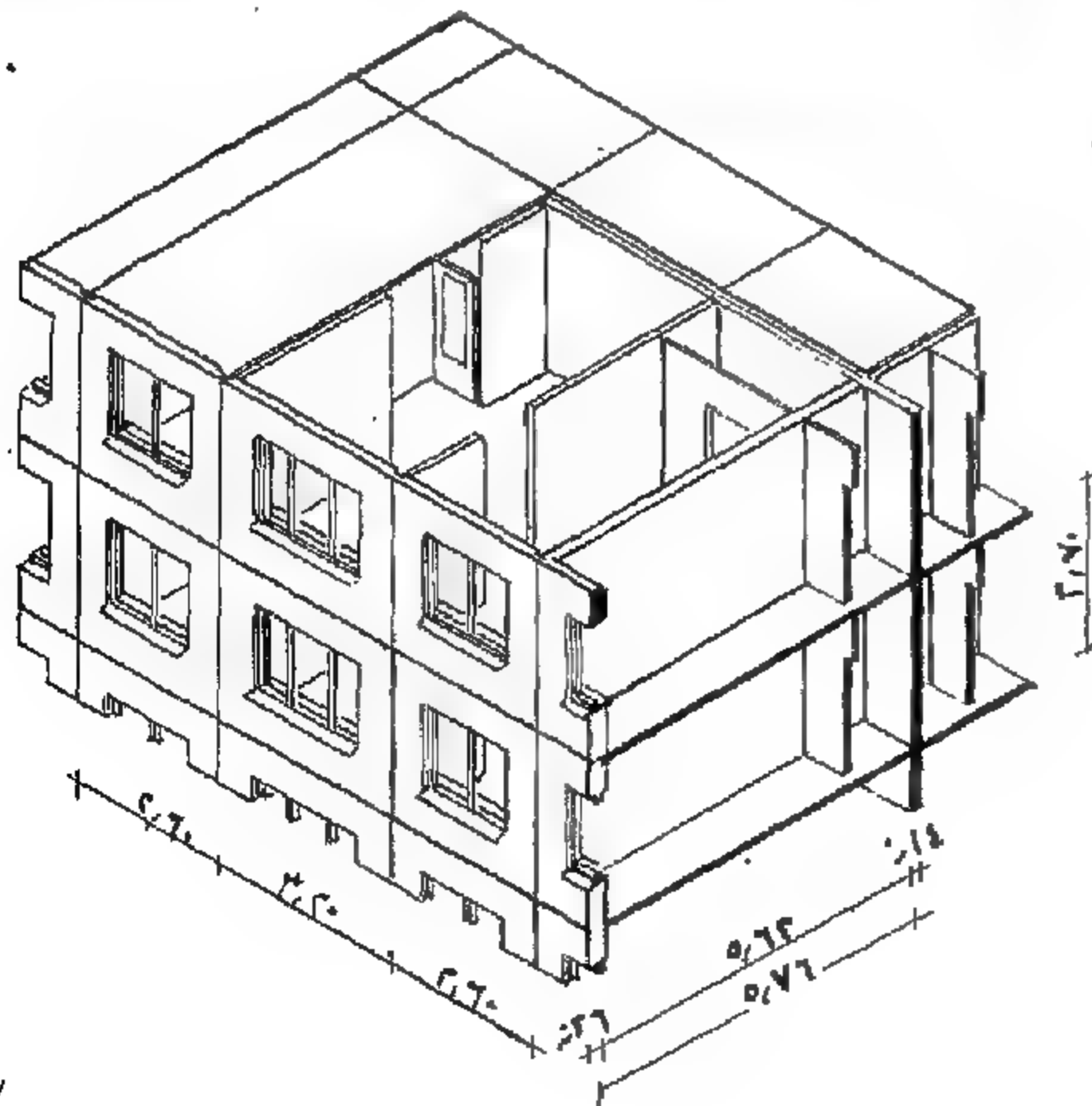
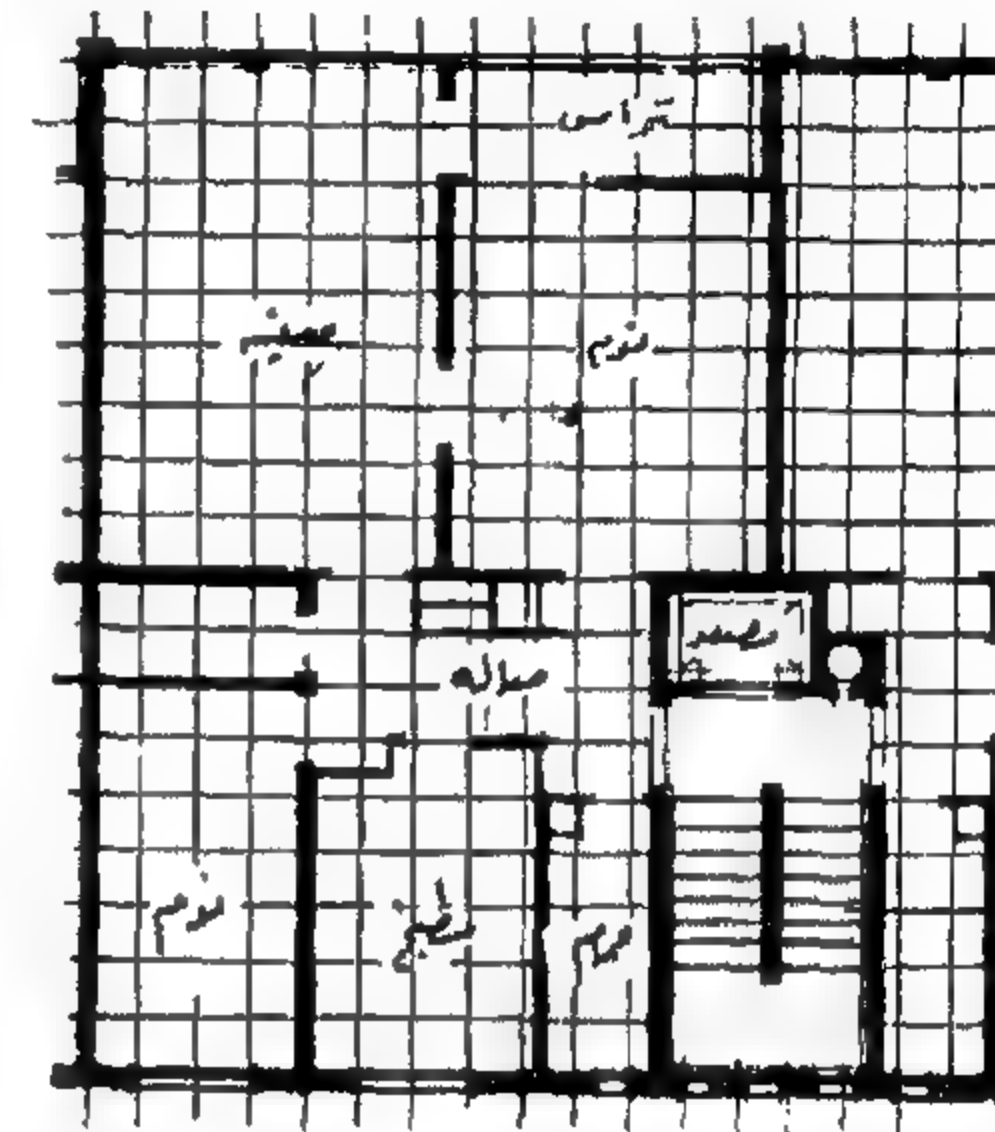
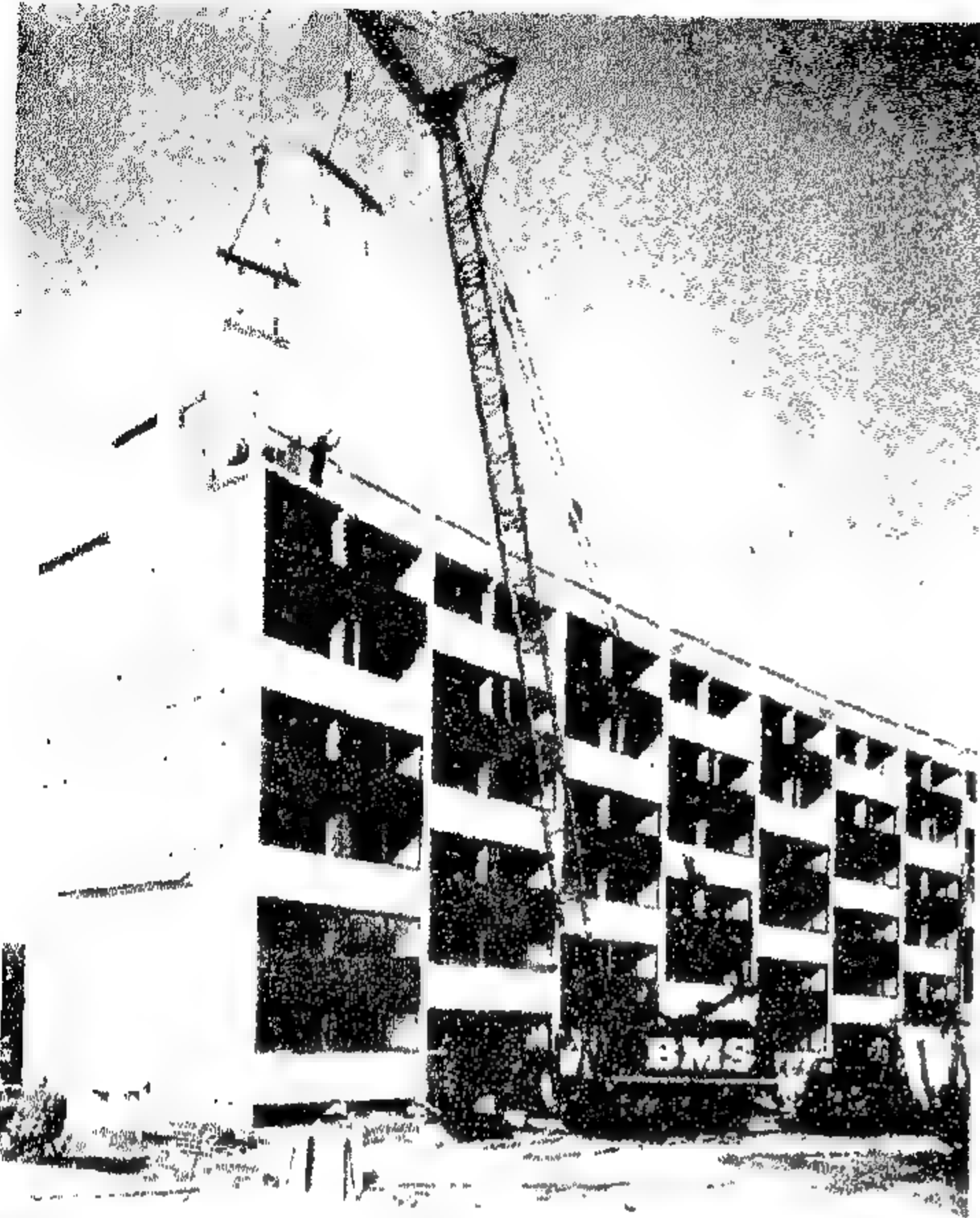
طريقة لارسون ونلسون - الدائمات

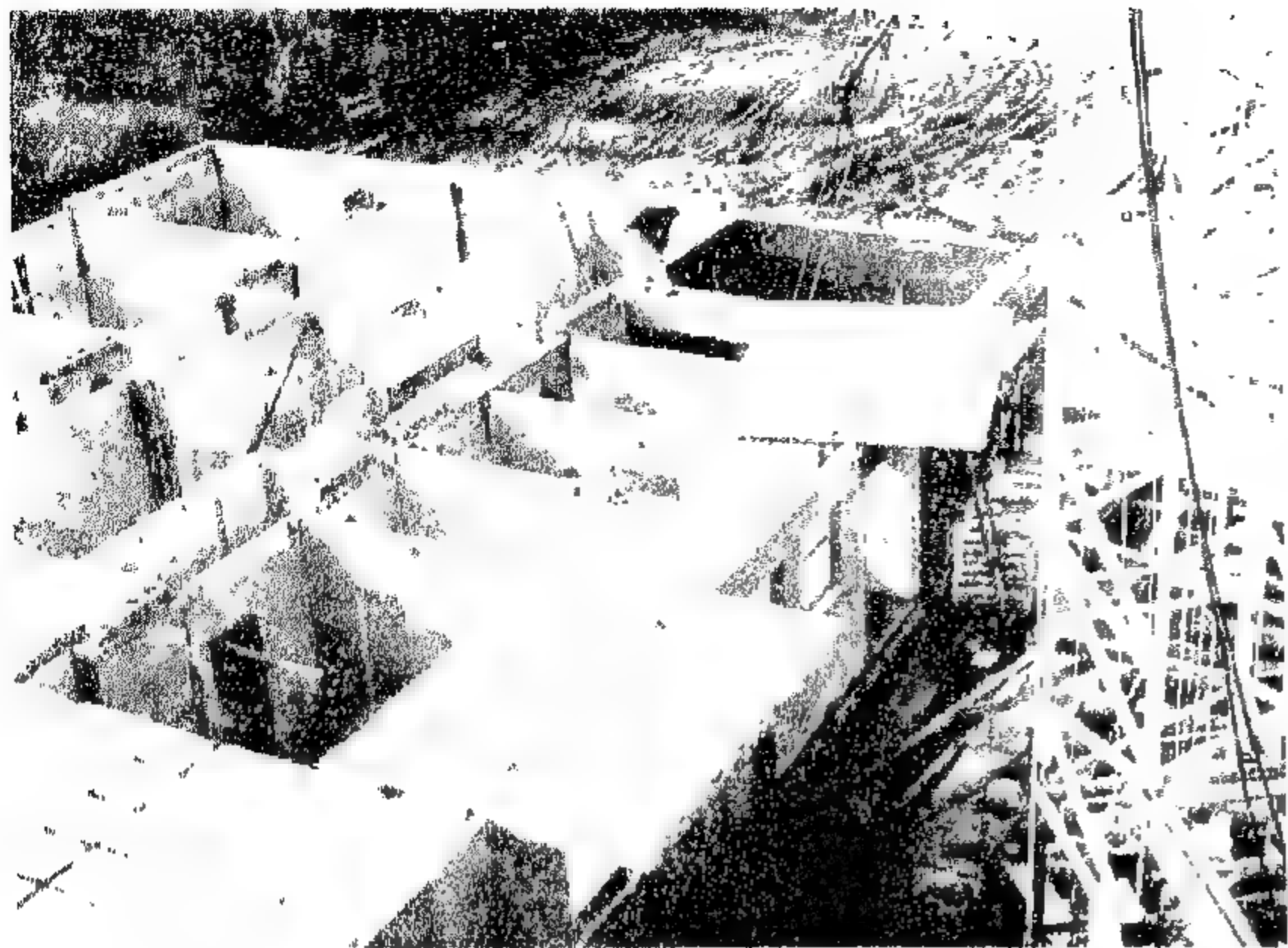
(شکل ۸۴) مشروع بلما مسجد فی کونہاجن -

الواجهات من بانوهات بركام مكشوف تحت الإنشاء.
(شكل ٨٥) مسقط شقة في وحدة من ثمان أدوار في

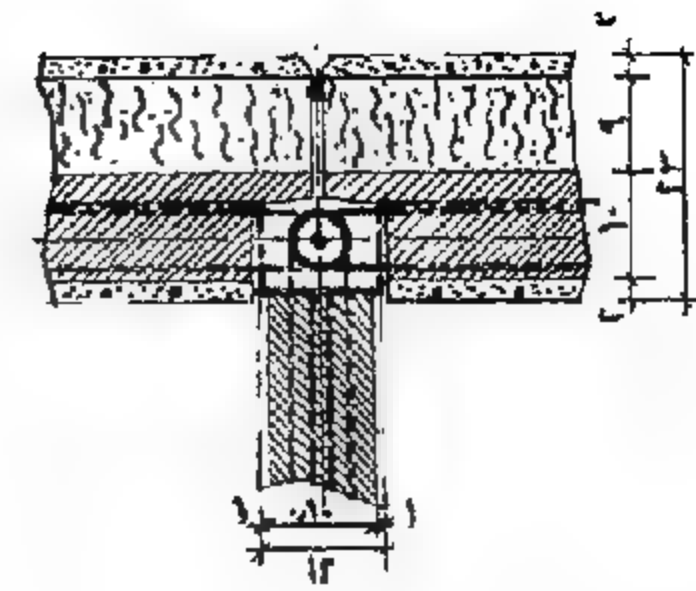
(شكل ٨٥) مسقط شقة في وحدة من ثمان أدوار في مشروع بلما نسجيد بكونينهاجن .

(شكل ٨٦) نموذج للإنشاء بمخاطط عرضية حاملة على مسافة حوالي ٣٠ م ، ٦٠ بالاتحاد السوفيتي .

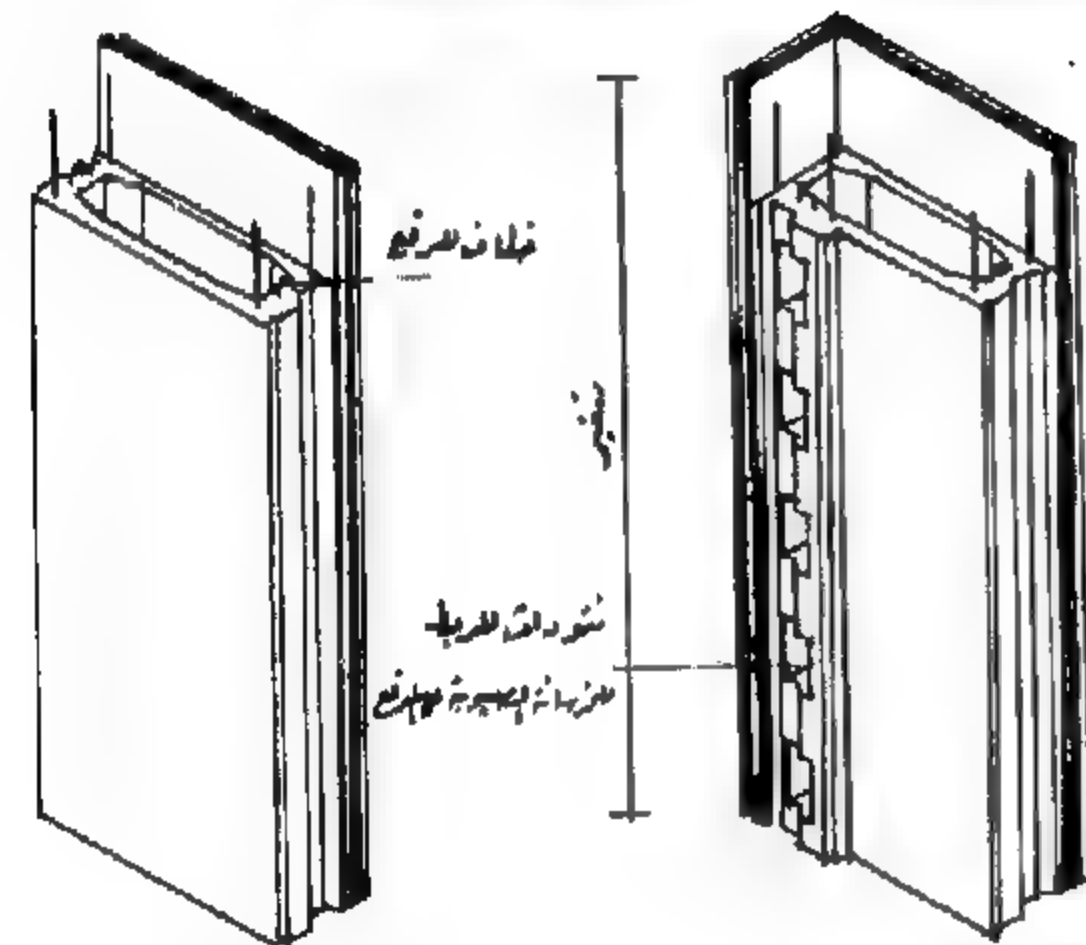
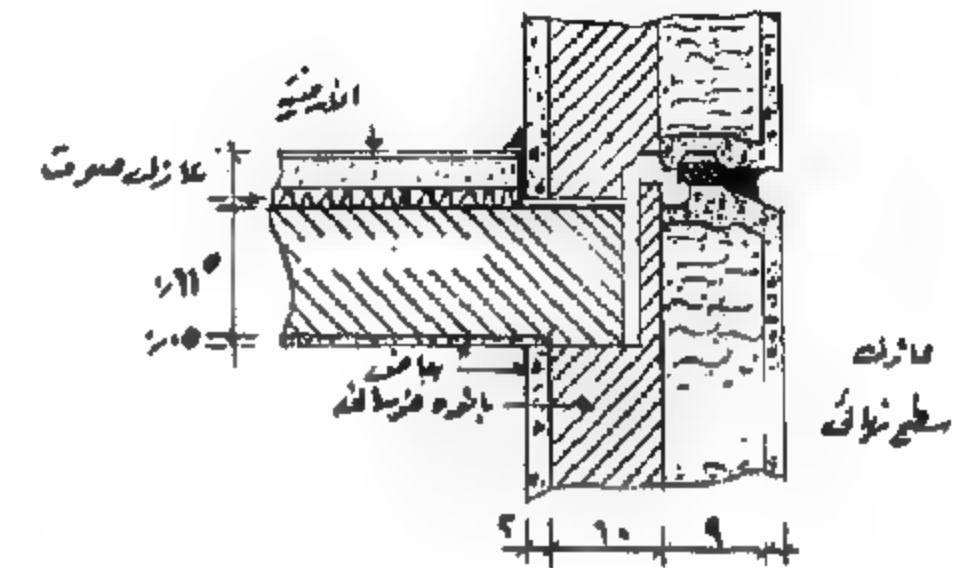




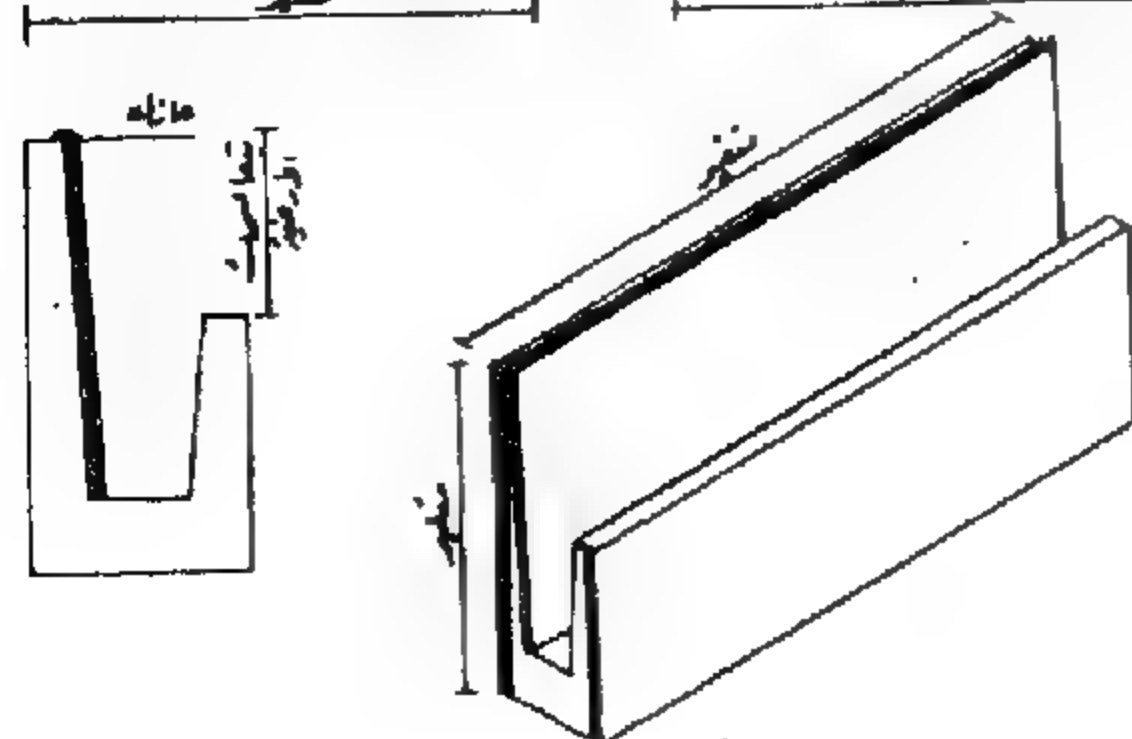
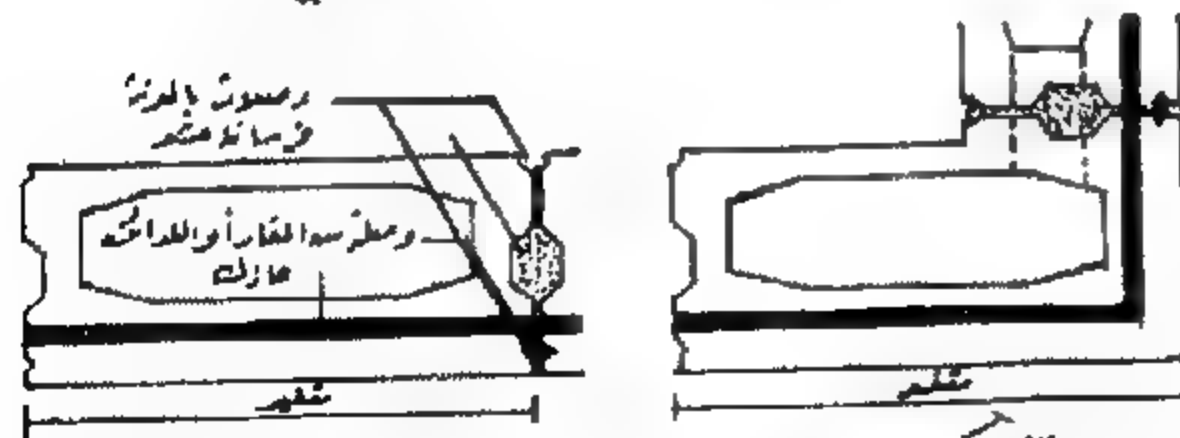
شكل ٨٧



شكل ٨٨



شكل ٨٩



سبق التجهيز - الإنشاء بالحوائط الحاملة

طريقة ميشيك - النمسا

(شكل ٨٧) إسقاط بانوهات السقف الجاهزة في أماكنها

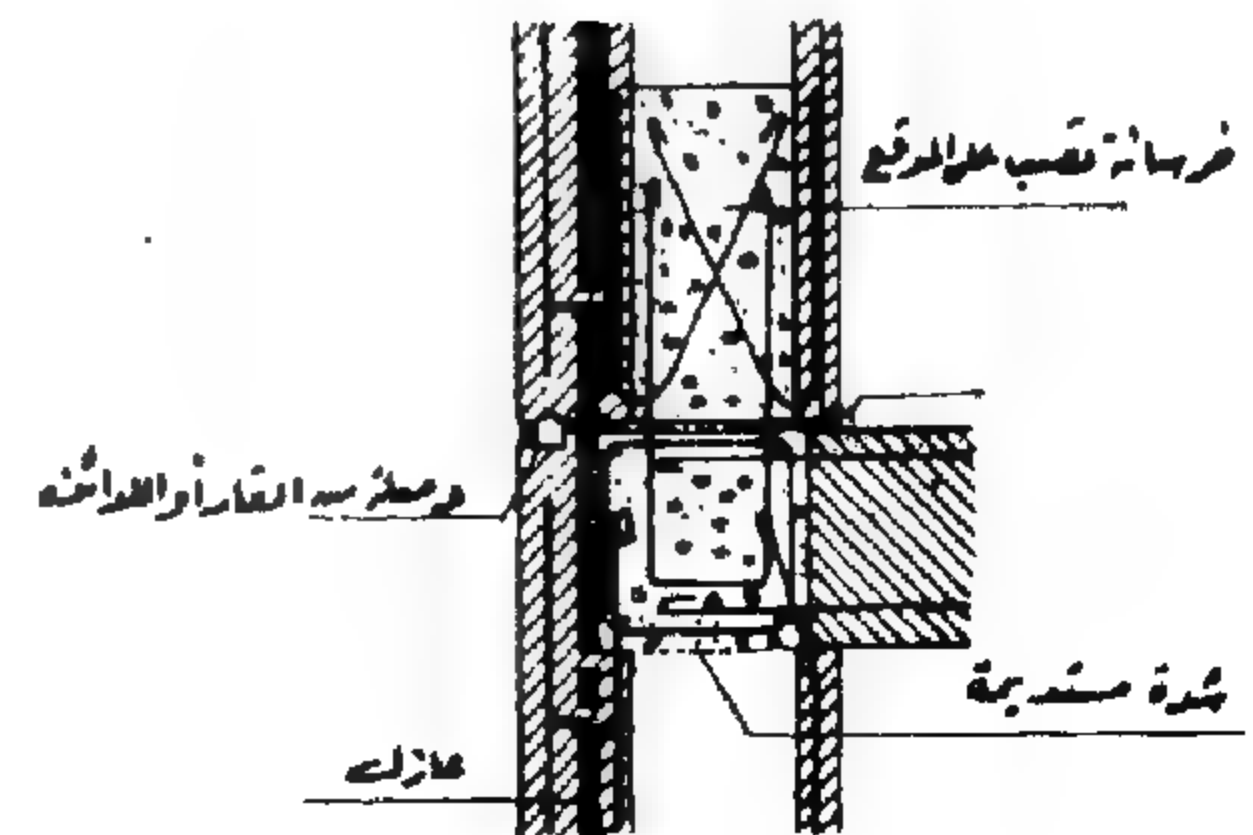
(شكل ٨٨) مسقط وقطاع في حائط خارجي - وصلة

بالحائط الداخلي وبالسقف

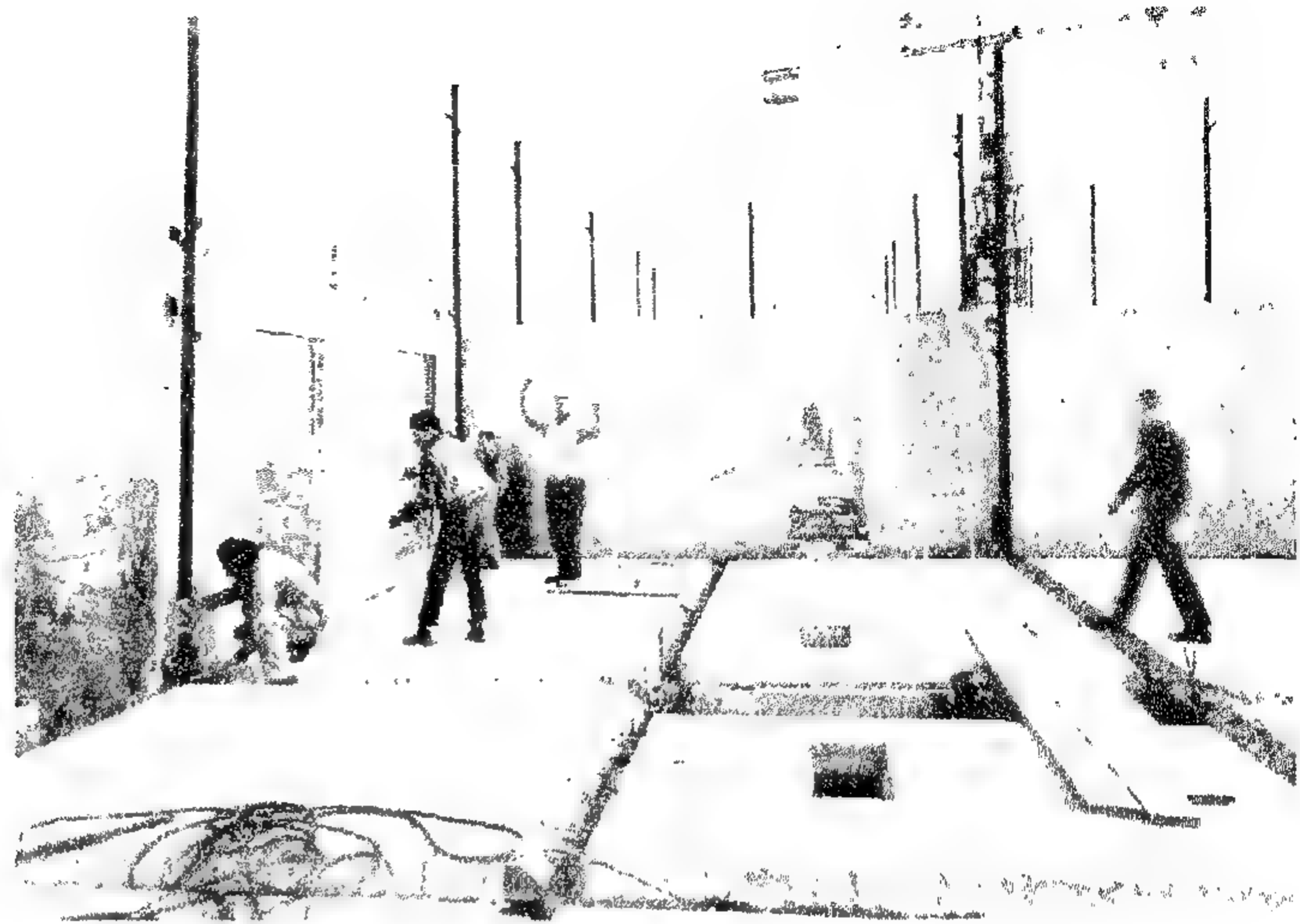
(شكل ٨٩) طريقة كوفيه فرنسا - مشروع عمارات سكنية

تحت الإنشاء وتفاصيل وحدات الحائط والأعتاب

شكل ٨٩



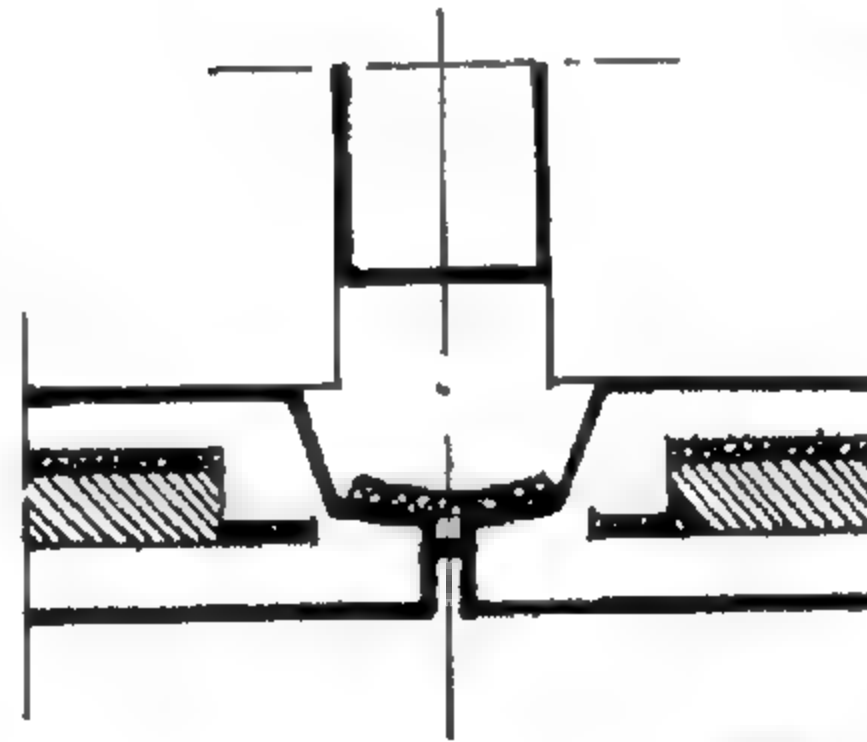
شكل ٩٠



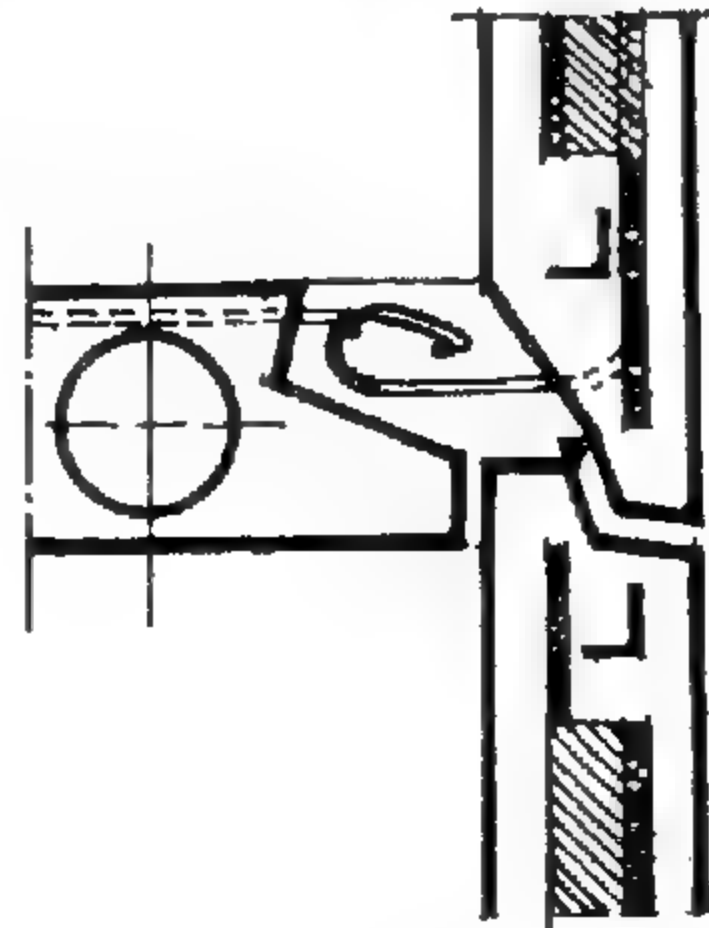
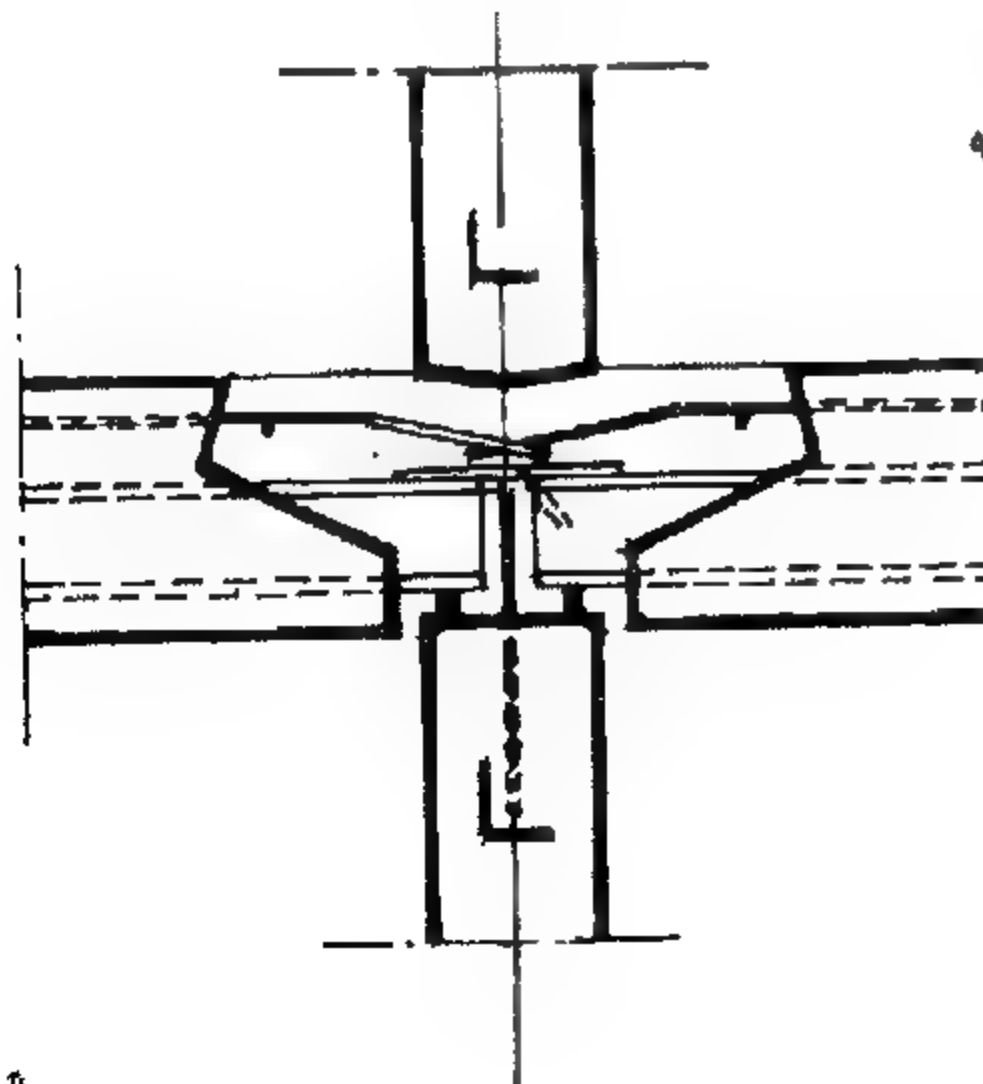
سبق التجهيز - الإنشاء بالحوائط الحاملة

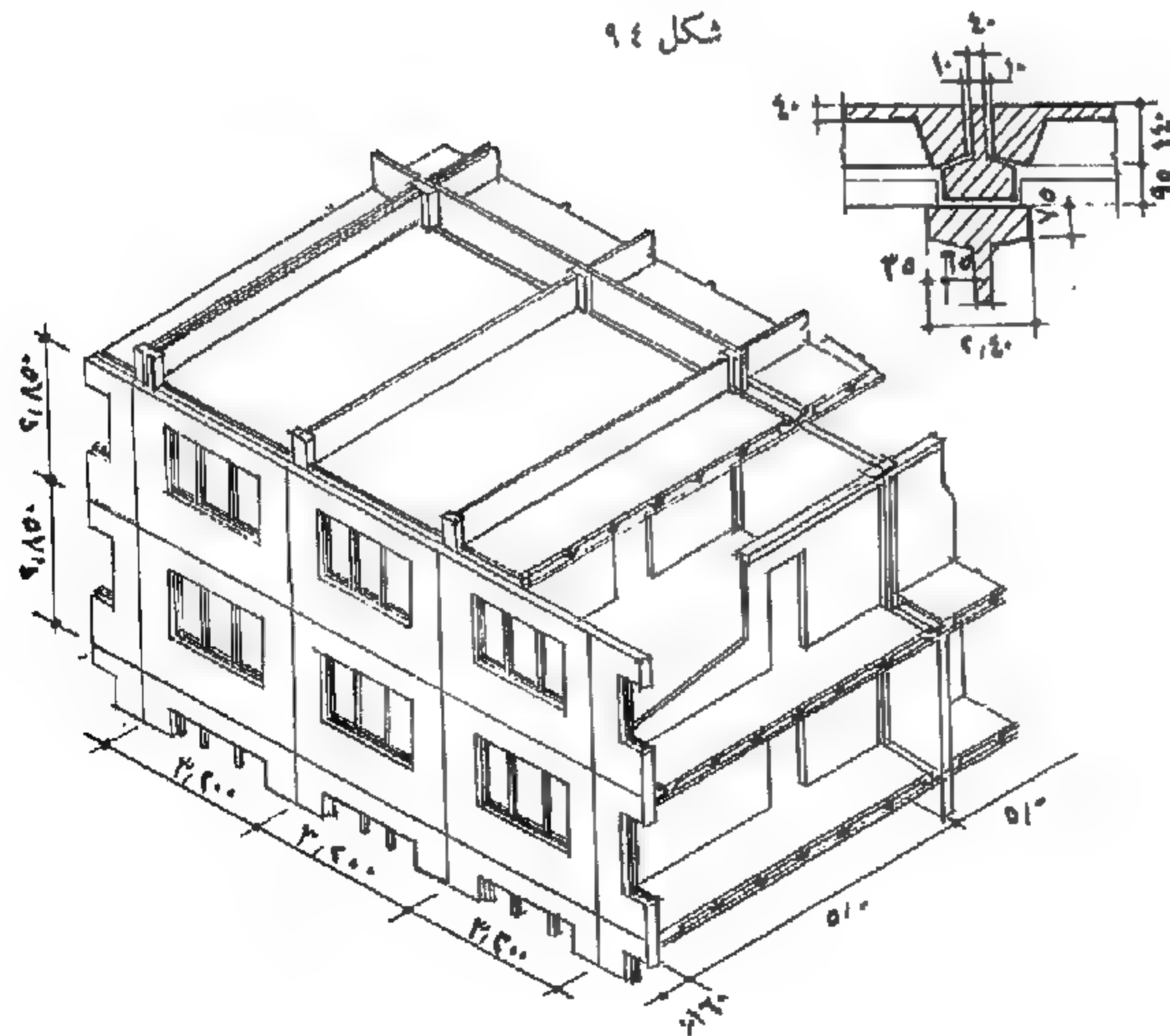
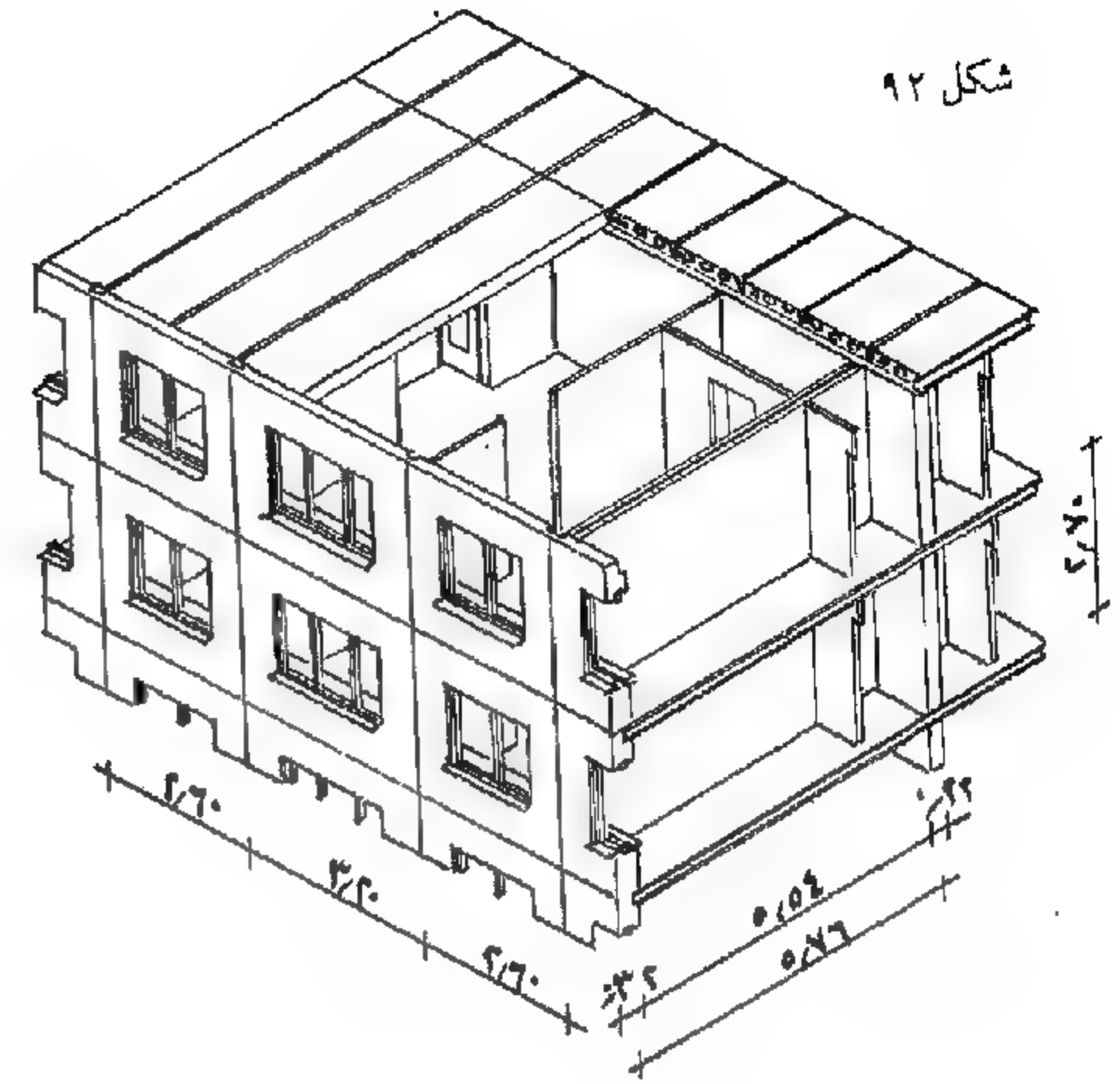
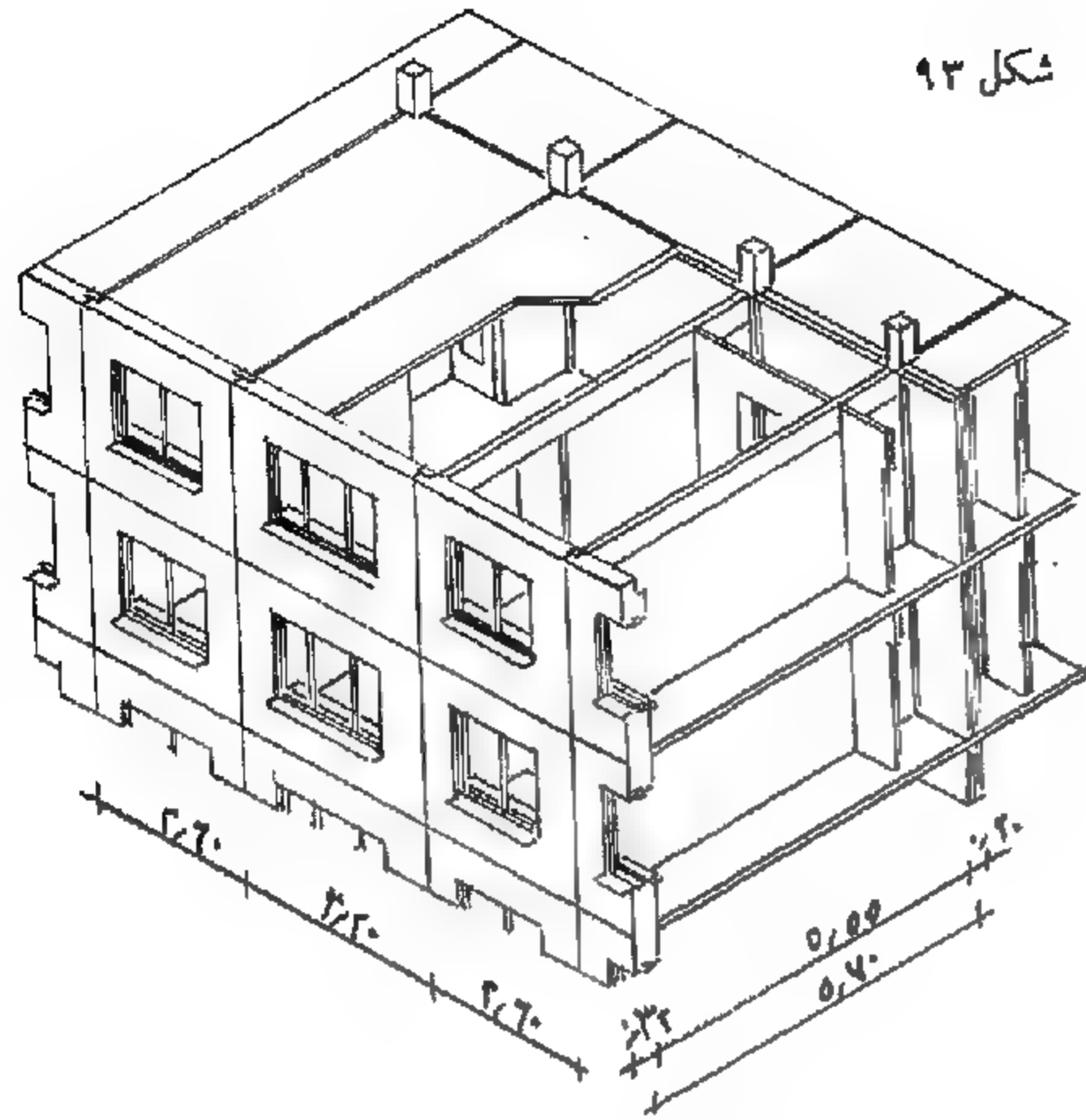
طريقة استيوت - فرنسا

(شكل ٩٠) مجموعة مساكن تحت الإنشاء في أفينيون.
(شكل ٩١) مقاطعات أفقية في وصلة حائط خارجي
بحائط داخلي، وقطاعات رأسية في وصلة حائط خارجي
وحائط داخلي ببانوهات الأسقف.



شكل ٩١





سبق التجهيز - الإنشاء بالحوائط الحاملة

الاتحاد السوفيتي

(شكل ٩٢) نموذج لسبق التجهيز بالحوائط

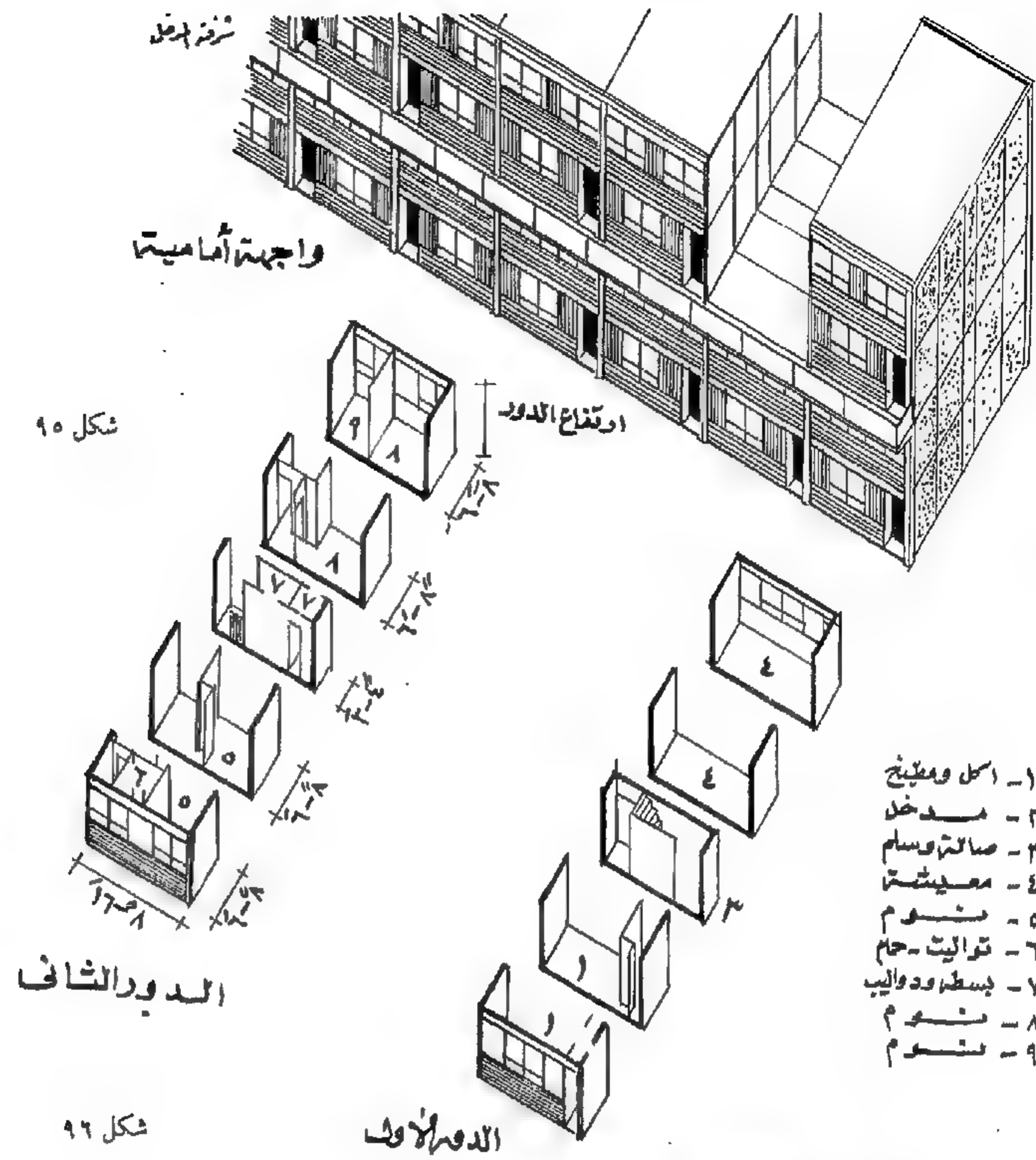
الطولية الحاملة .

(شكل ٩٣) نموذج لسبق التجهيز بالحوائط

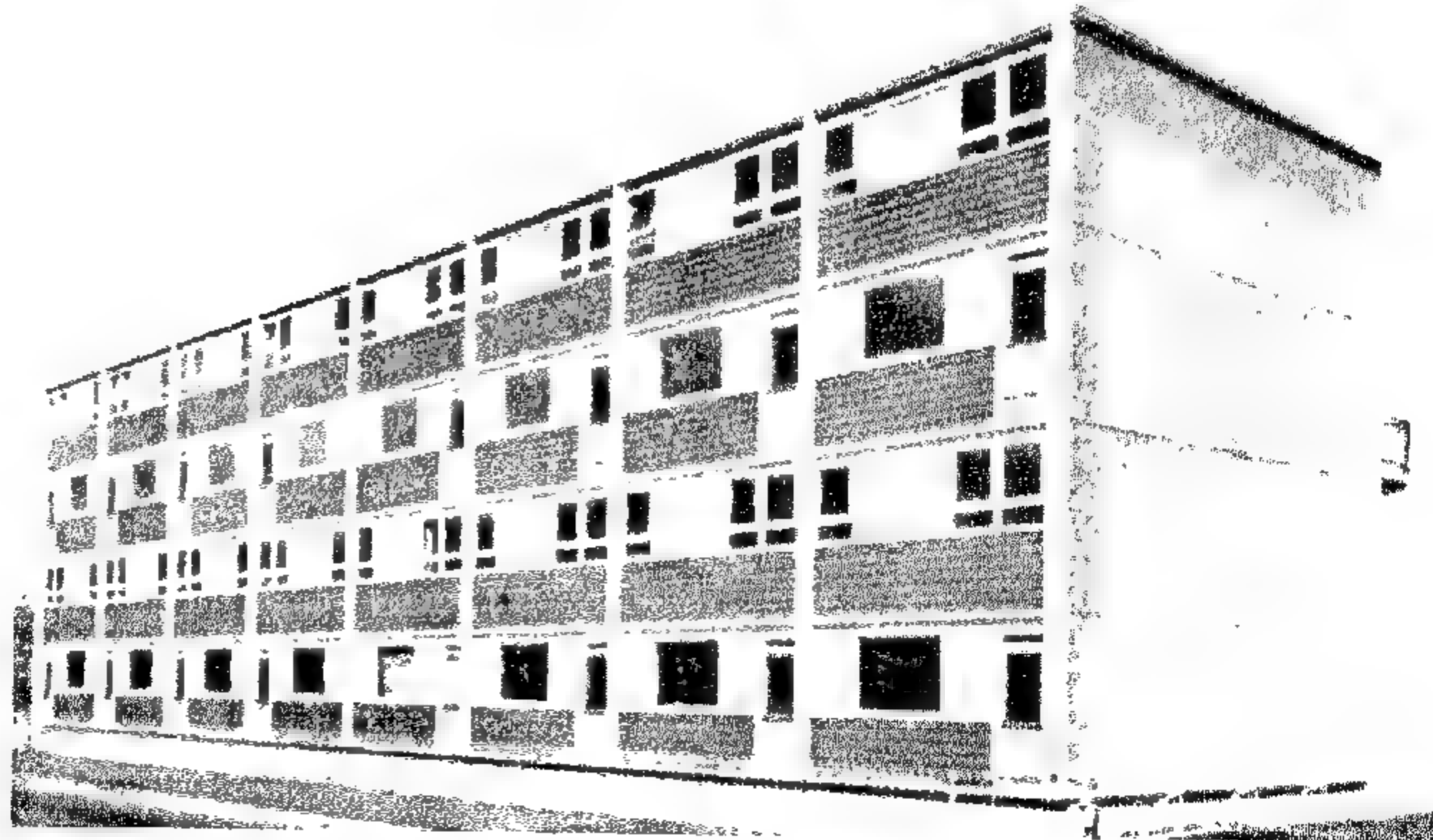
خارجية حاملة وأعمدة وكمرات داخلية .

(شكل ٩٤) نموذج لسبق التجهيز ببنائوهات

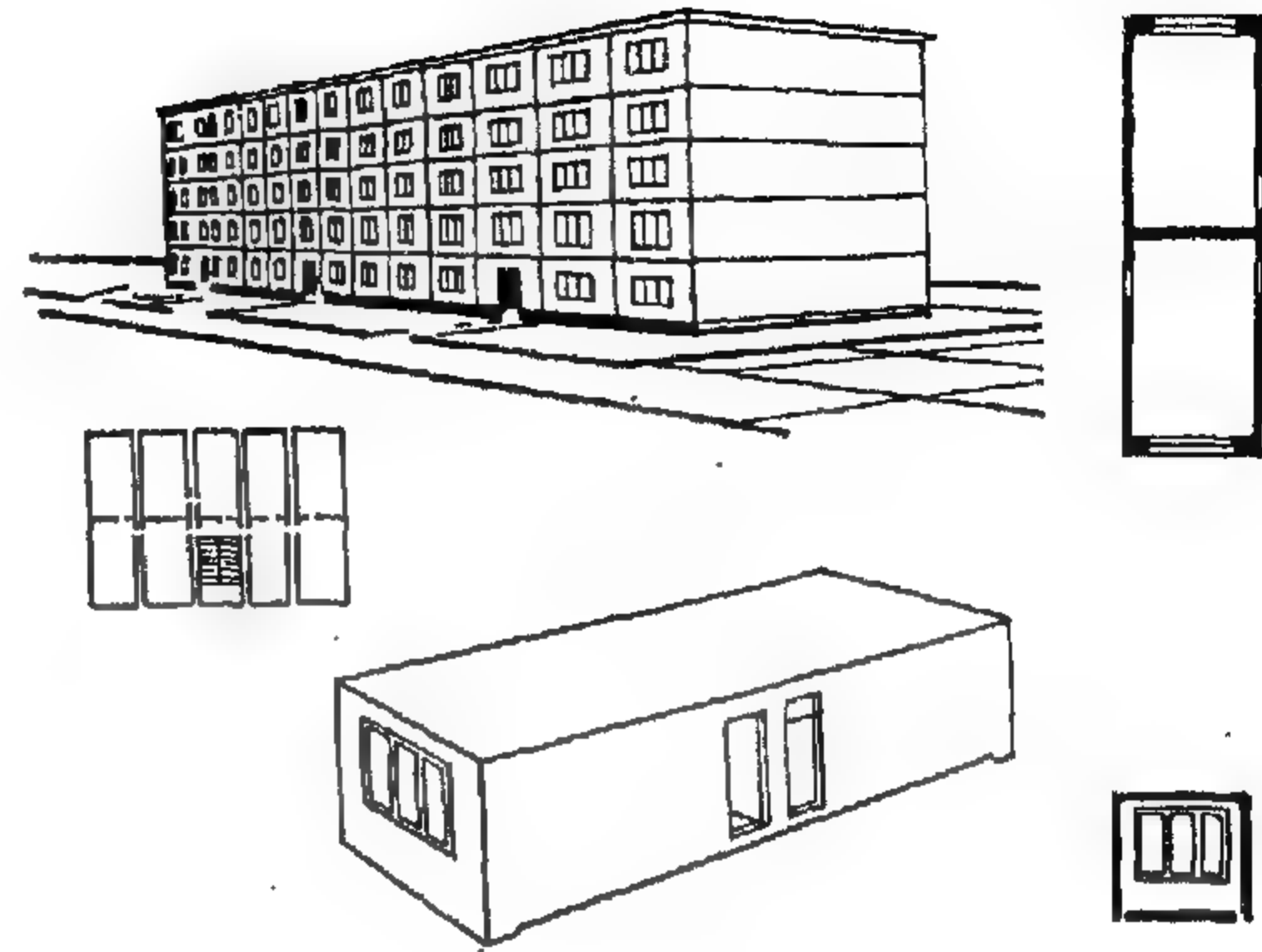
كبيرة ذات كادرات حاملة .



سبق التجهيز الصندوقي
طريقة تراسكون - إنجلترا
(شكل ٩٥) منظور لمشر وحدات جاهزة
لعمارة سكنية من أربعة أدوار .
(شكل ٩٦) منظور للعمارة بعد إنهائها .



شكل ٩٧



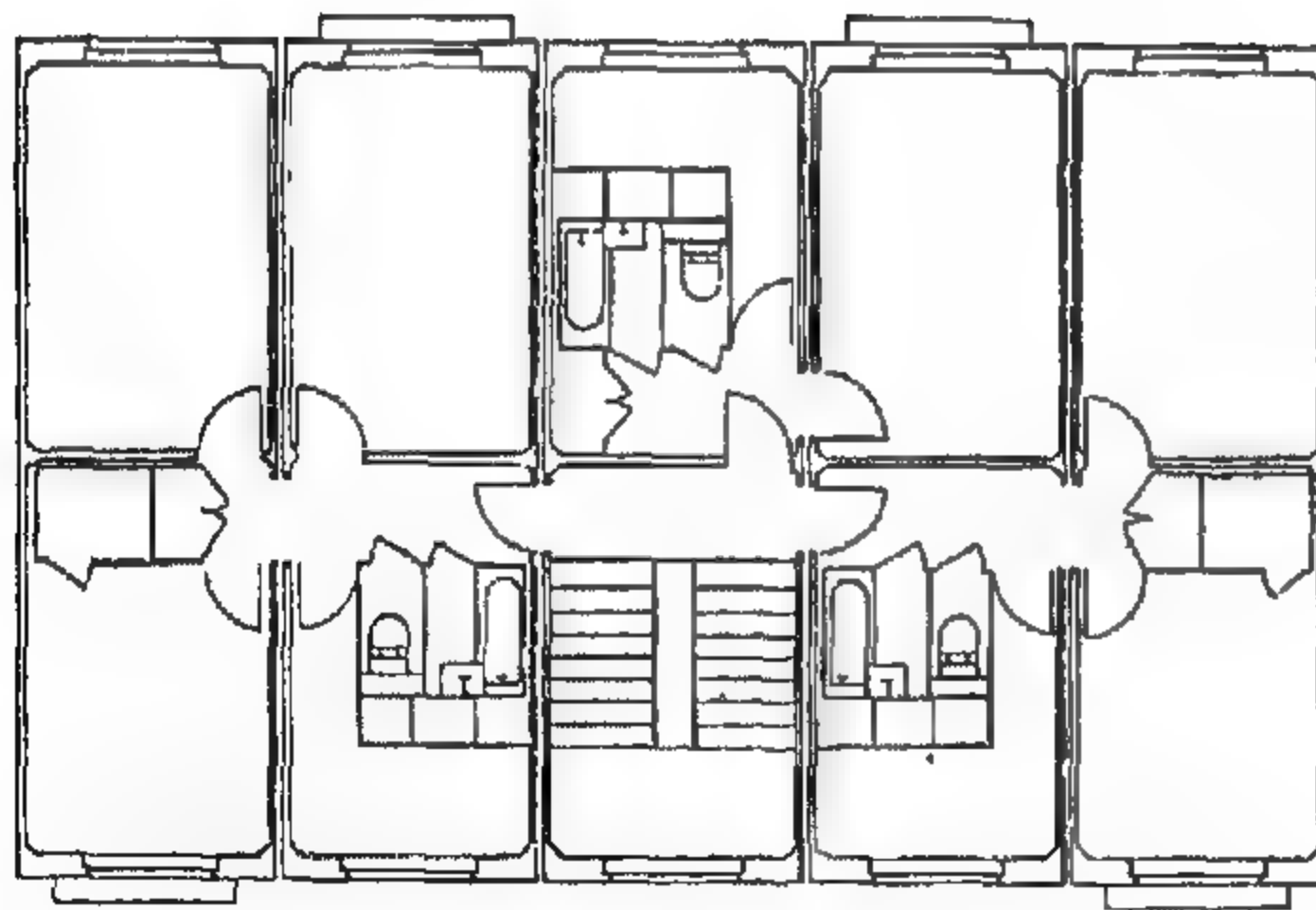
سبق التجهيز الصندوقى الاتحاد السوفيتى

(شكل ٩٧) منظور يبين توزيع الوحدة الصندوقية

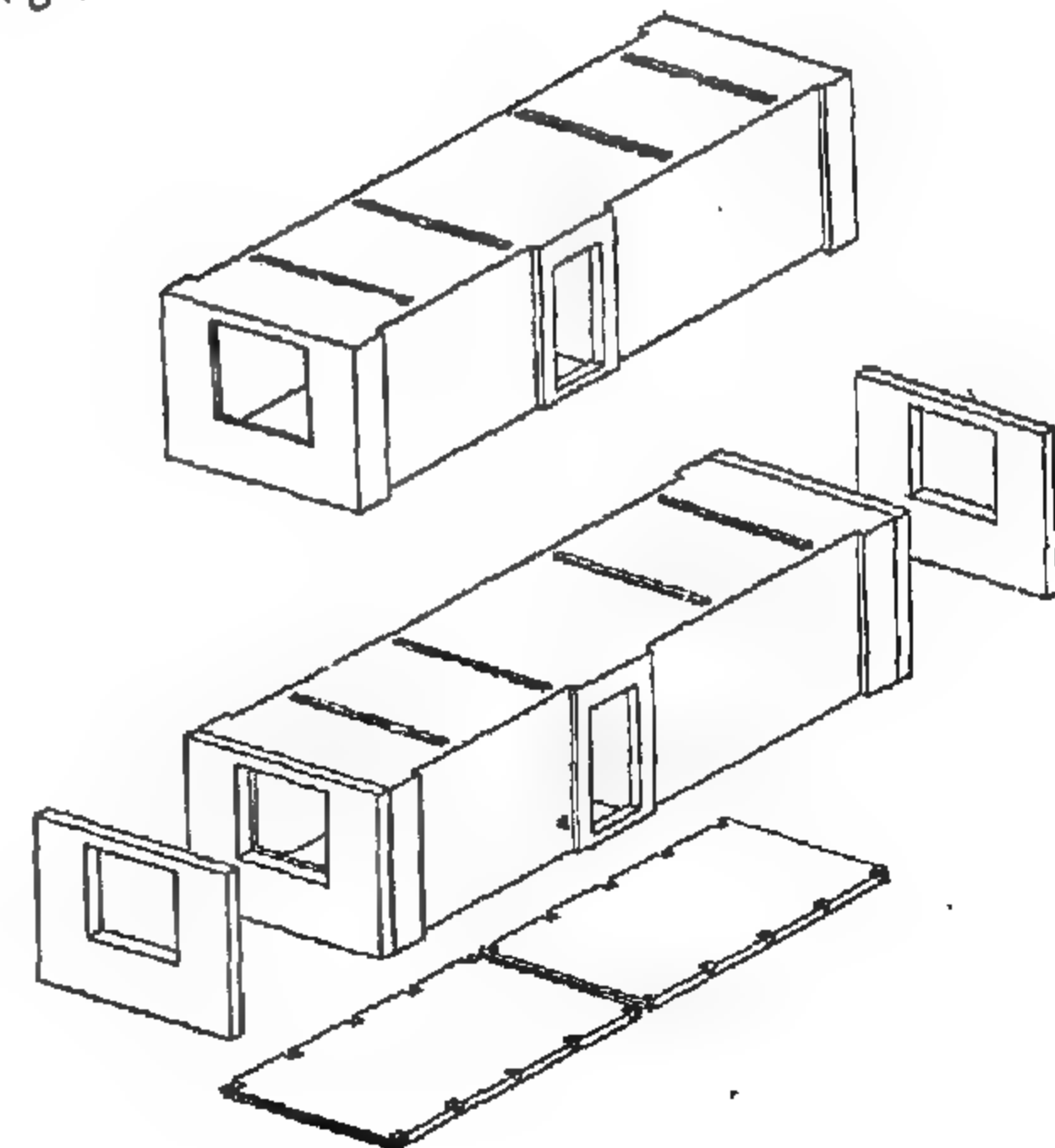
بالنسبة للمجموعة السكنية .

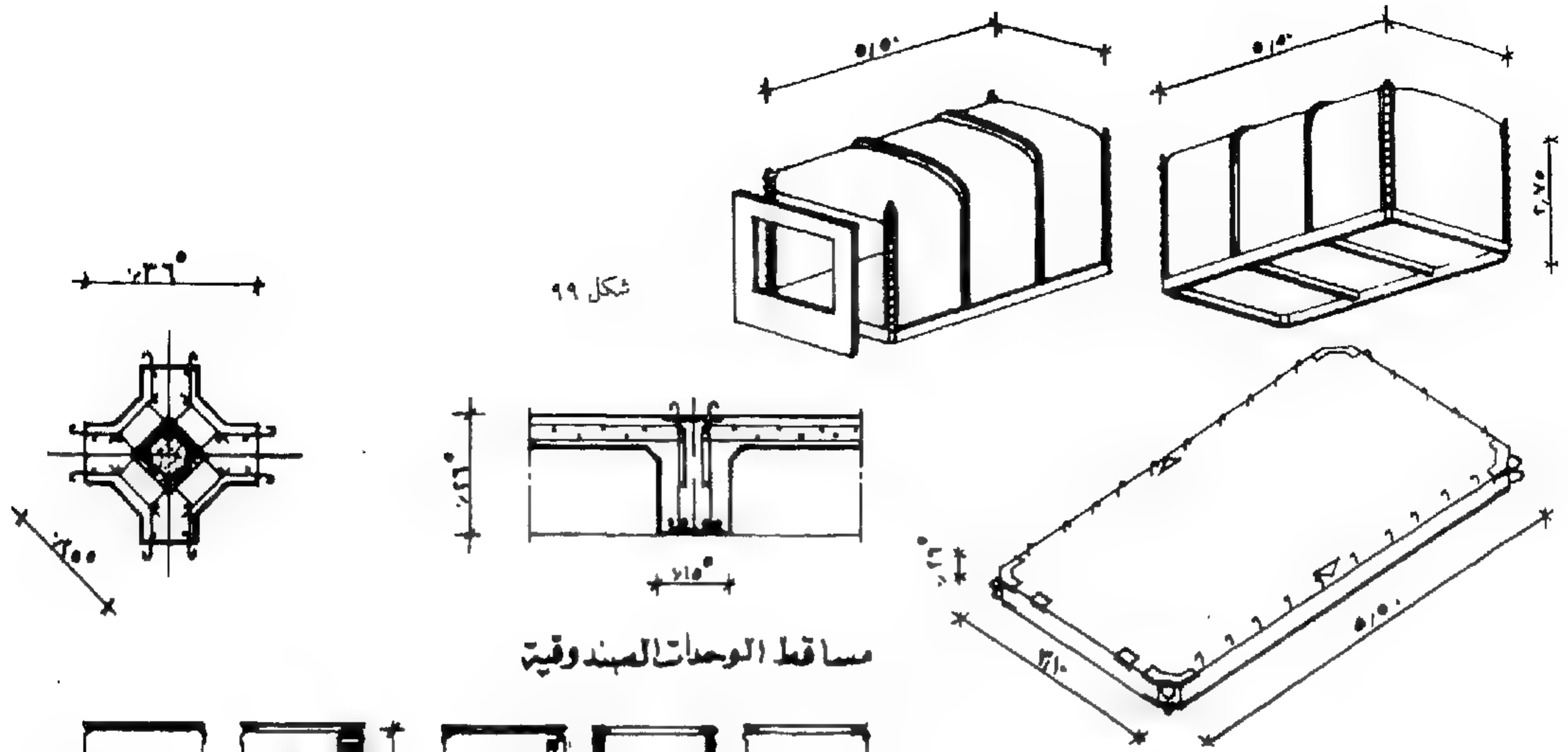
(شكل ٩٨) مسقط أفقى لتوزيع الوحدات

ومنظور لتفصيلاتها .



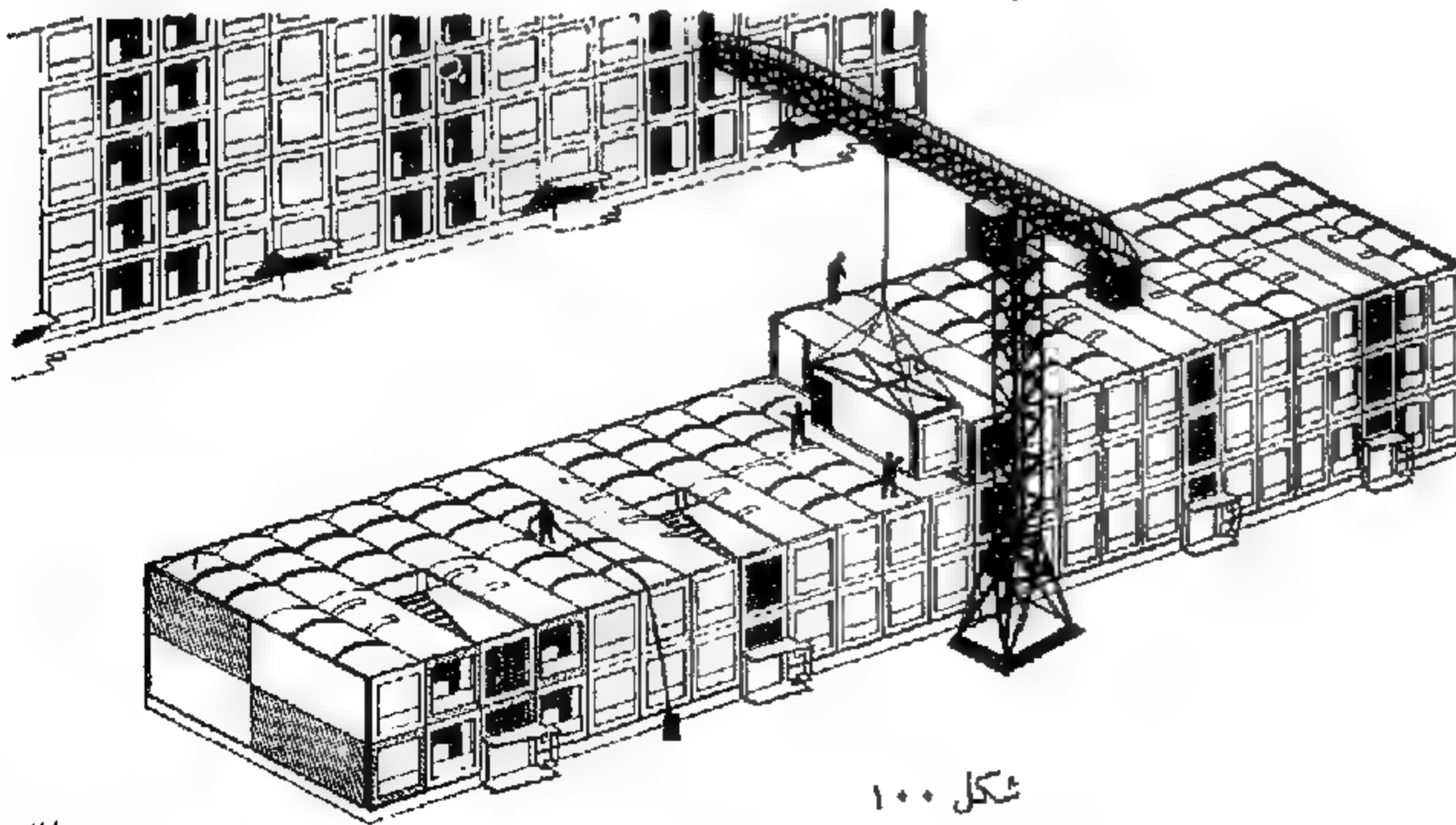
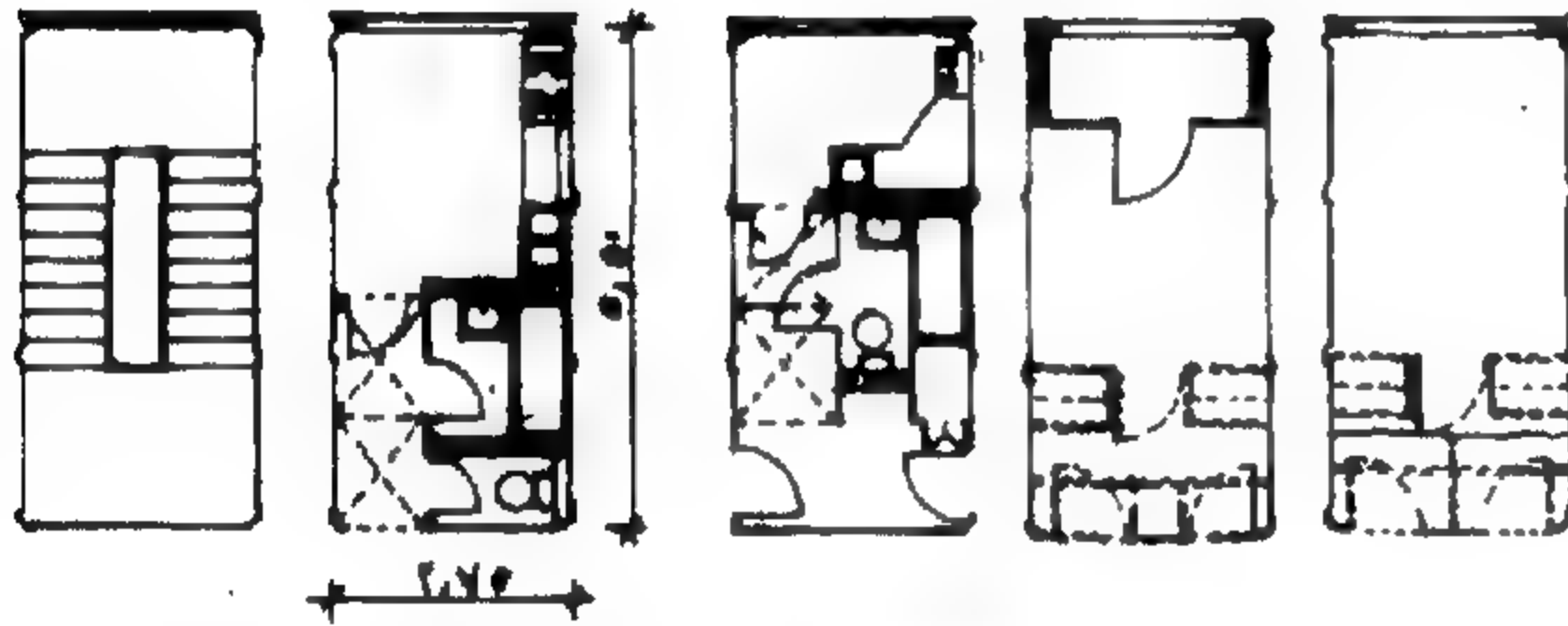
شكل ٩٨





شكل ٩٩

مقاطع الوحدات المبنية وقية

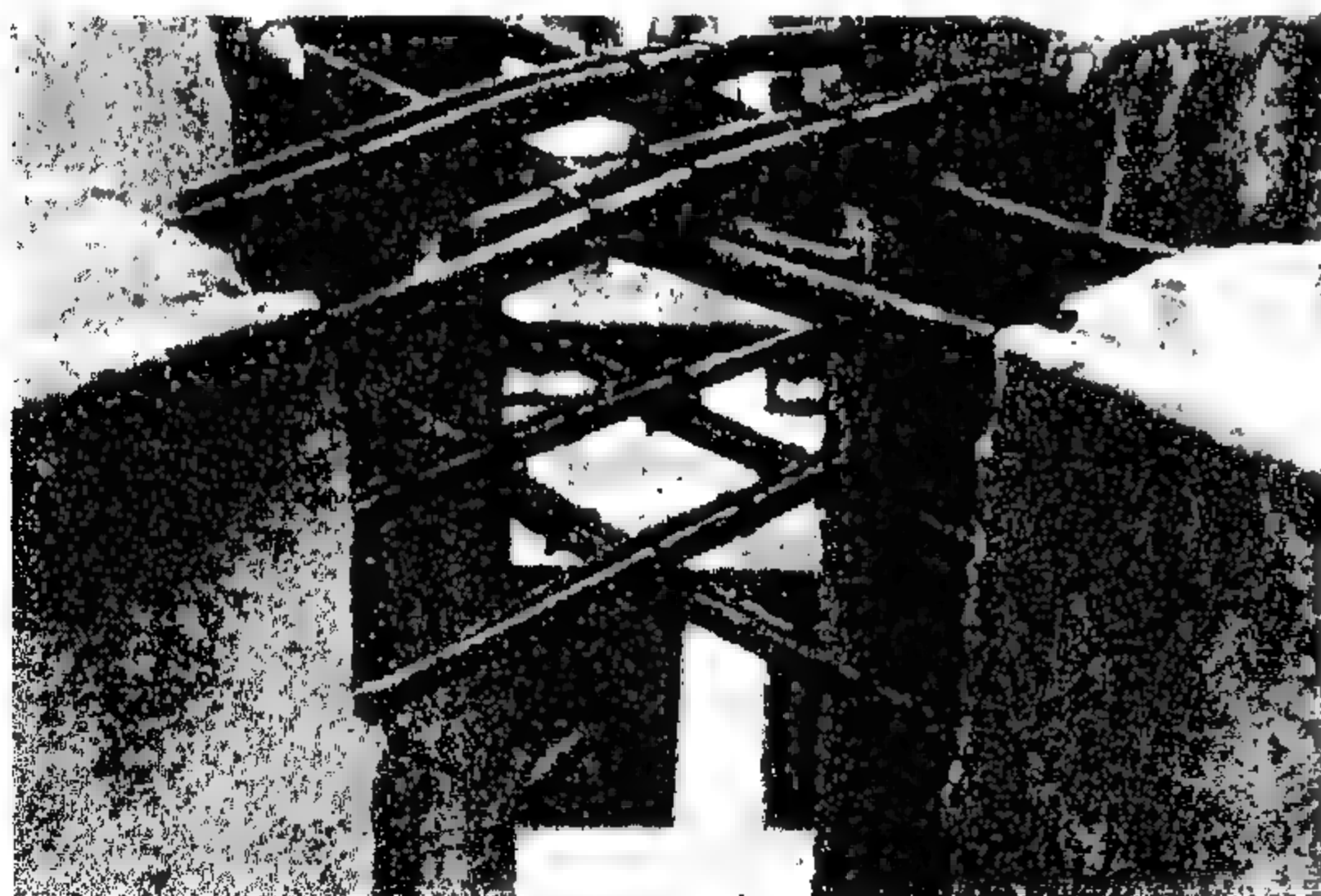
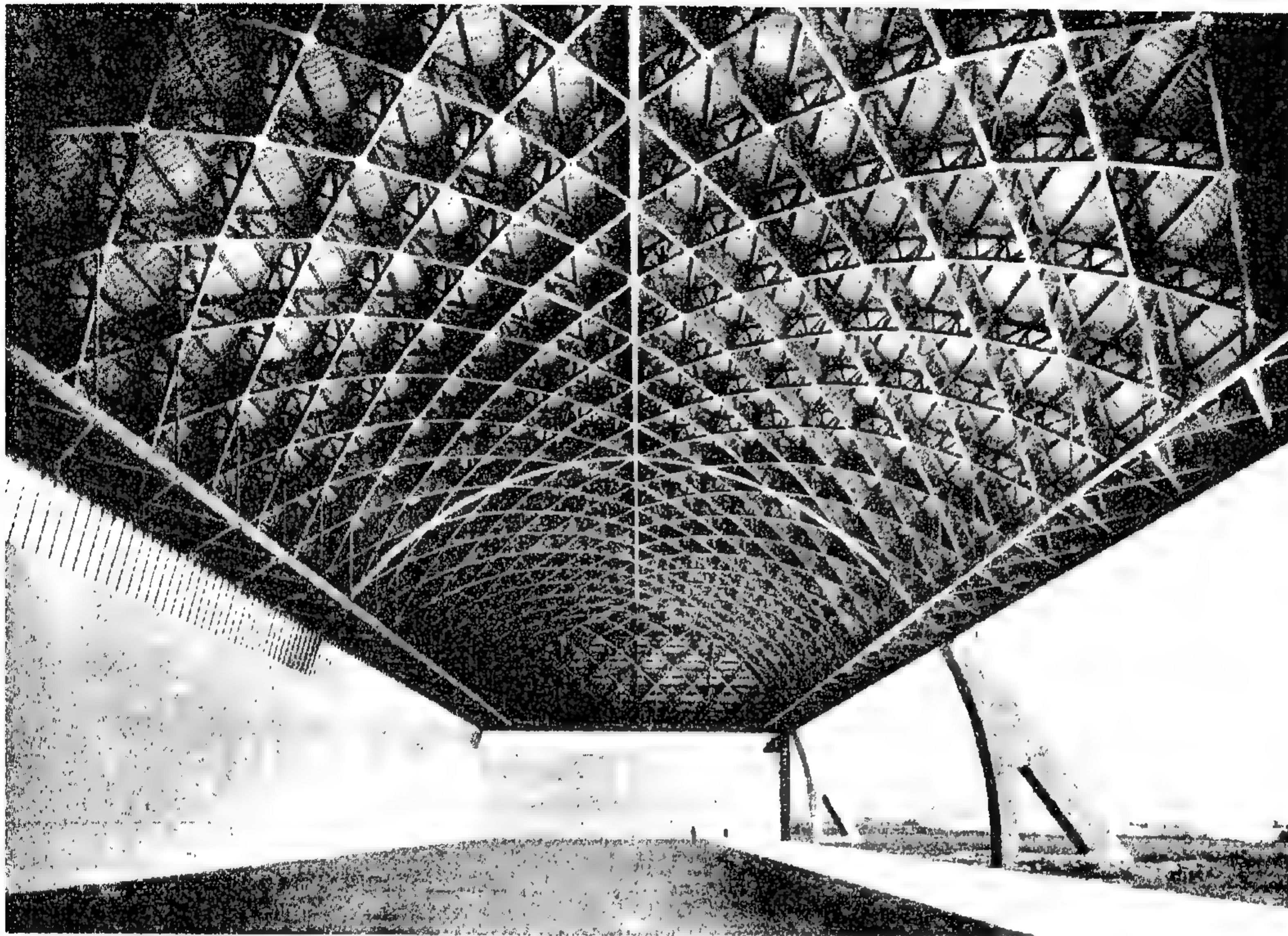


شكل ١٠٠

سبق التجهيز الصندوق

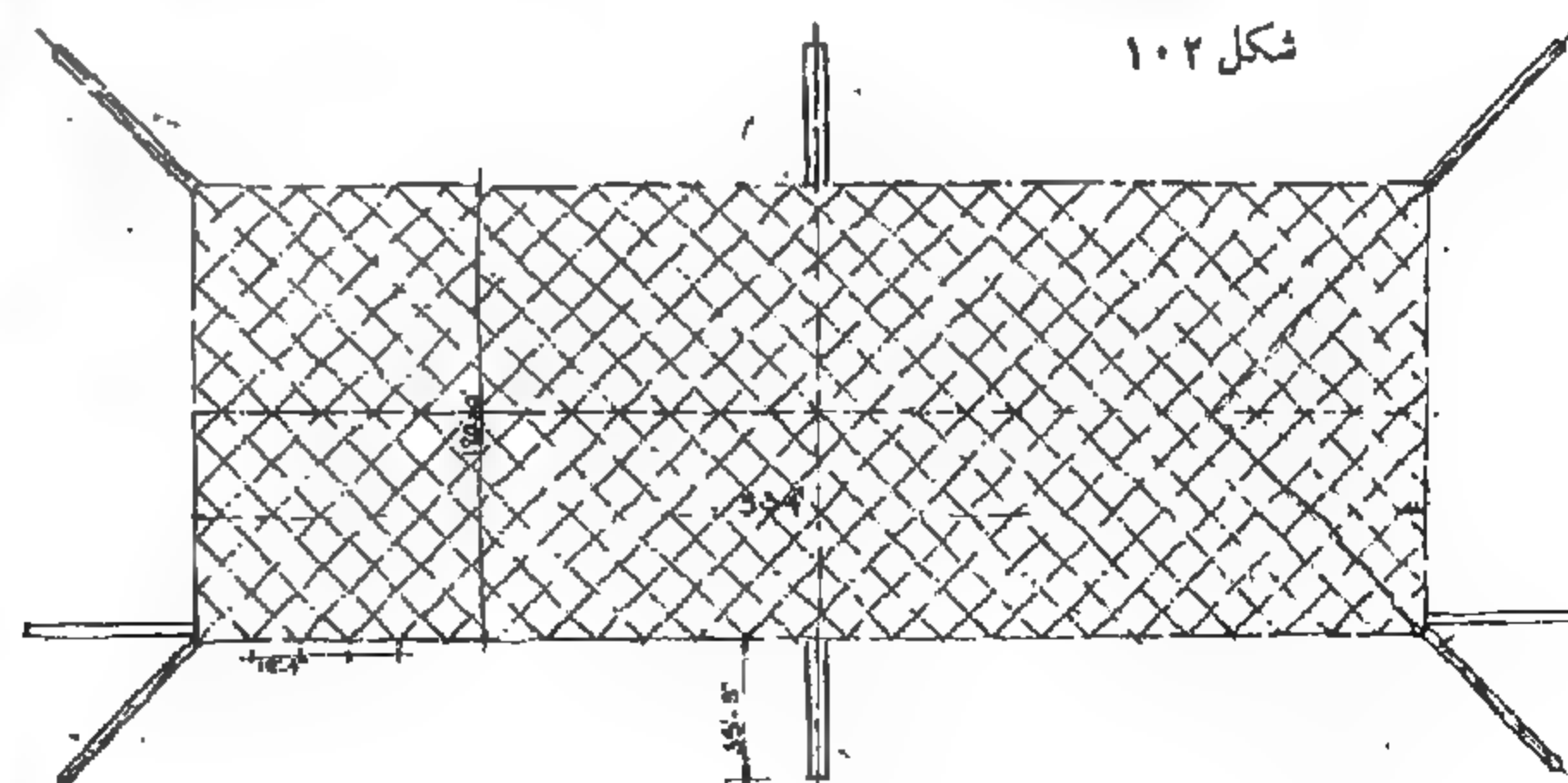
(شكل ٩٩) تفصيلات الوحدة وأركانها والاتصال بين الأربعة أعمدة الركينة واتصال بلاطات الأرضية .
(شكل ١٠١) منظوريين طريقة رفع الوحدات الصندوقية .

شکل ۱۰۱



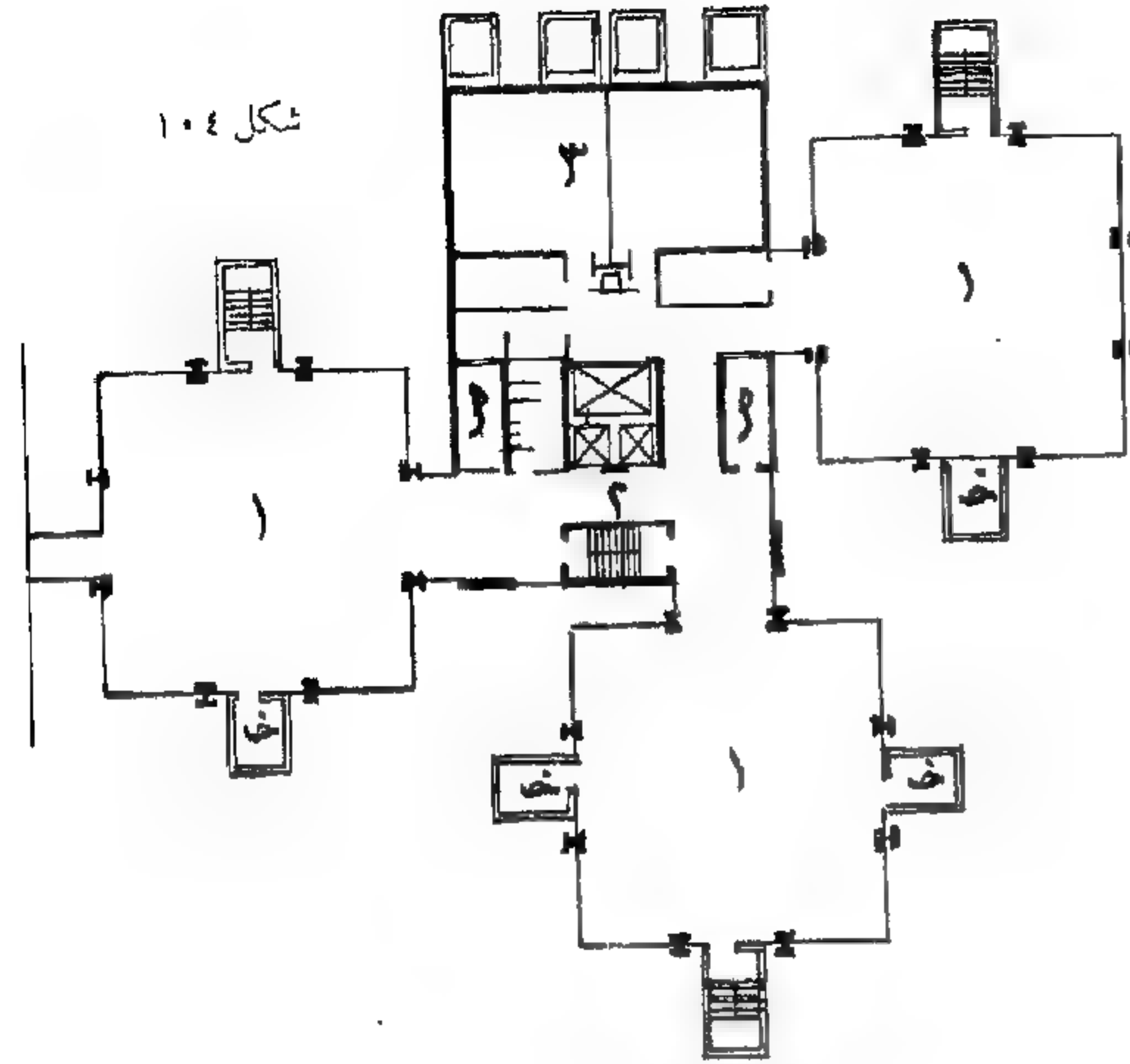
شکل ۱۰۳

شکل ۱۰۲



سبق التجهيز - باستعمال جمالونات خفيفة

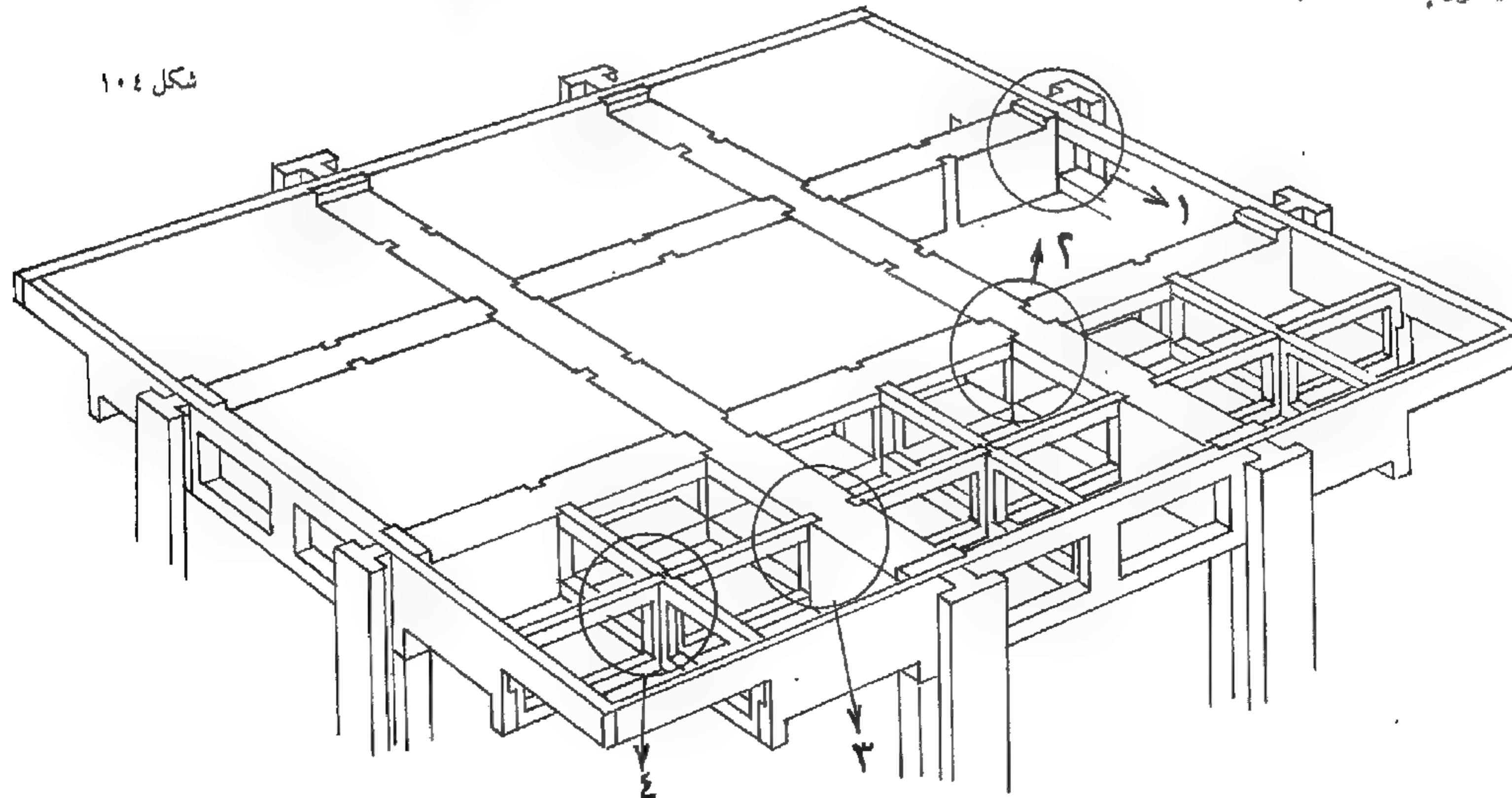
(شكل ١٠١) حظيرة طائرات في إيطاليا
(سنة ١٩٤٠-٤١) المهندس بيرلويجي نيرفي .
(شكل ١٠٢) مسقط أفقي للحظيرة السابقة .
(شكل ١٠٣) أربعة جمالونات جاهزة
تقابل على وصلة مصبوبة على الموقع مع
لحام أسياخ التسليح البارزة من كل وحدة
كهربائياً .

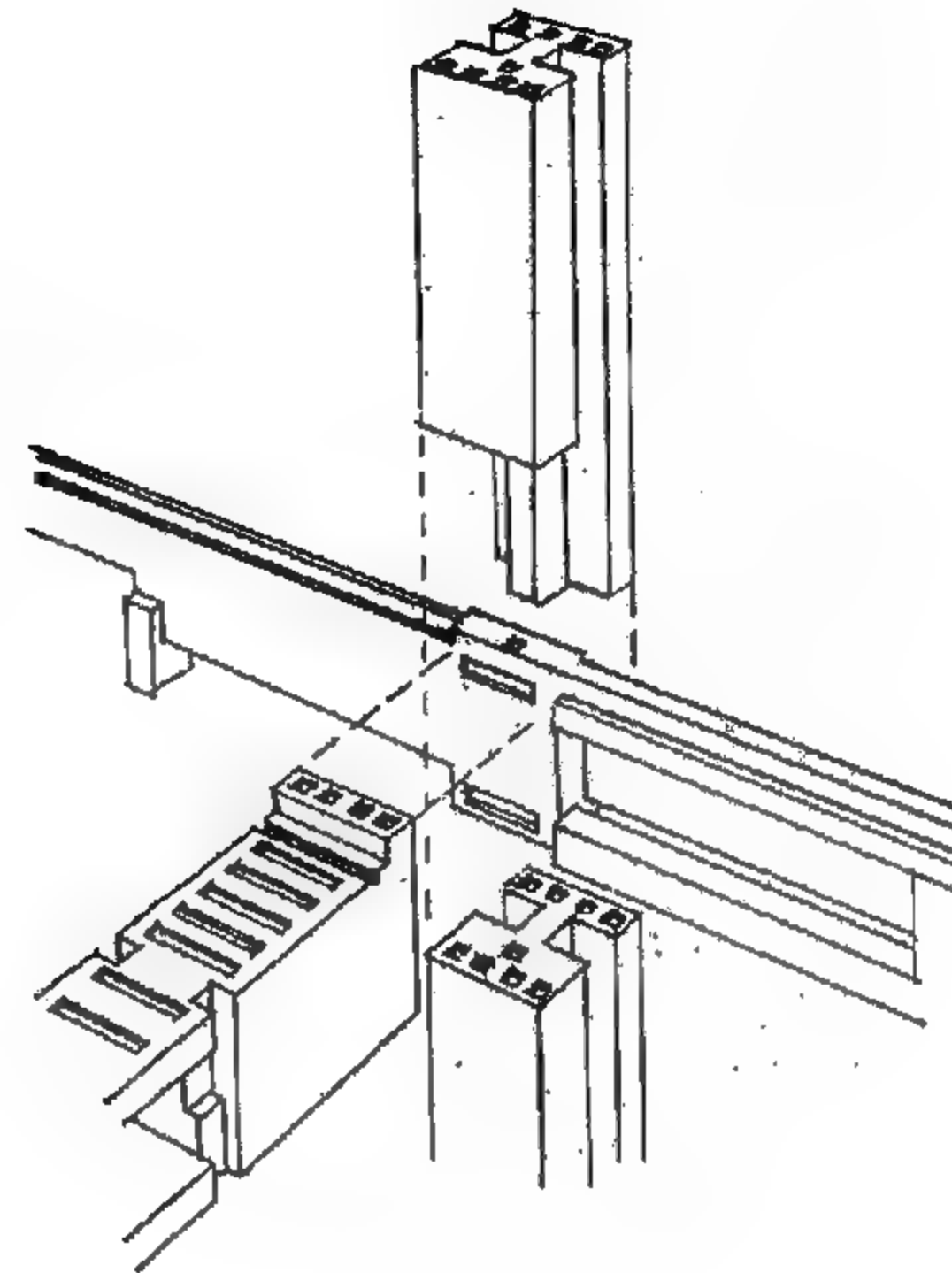
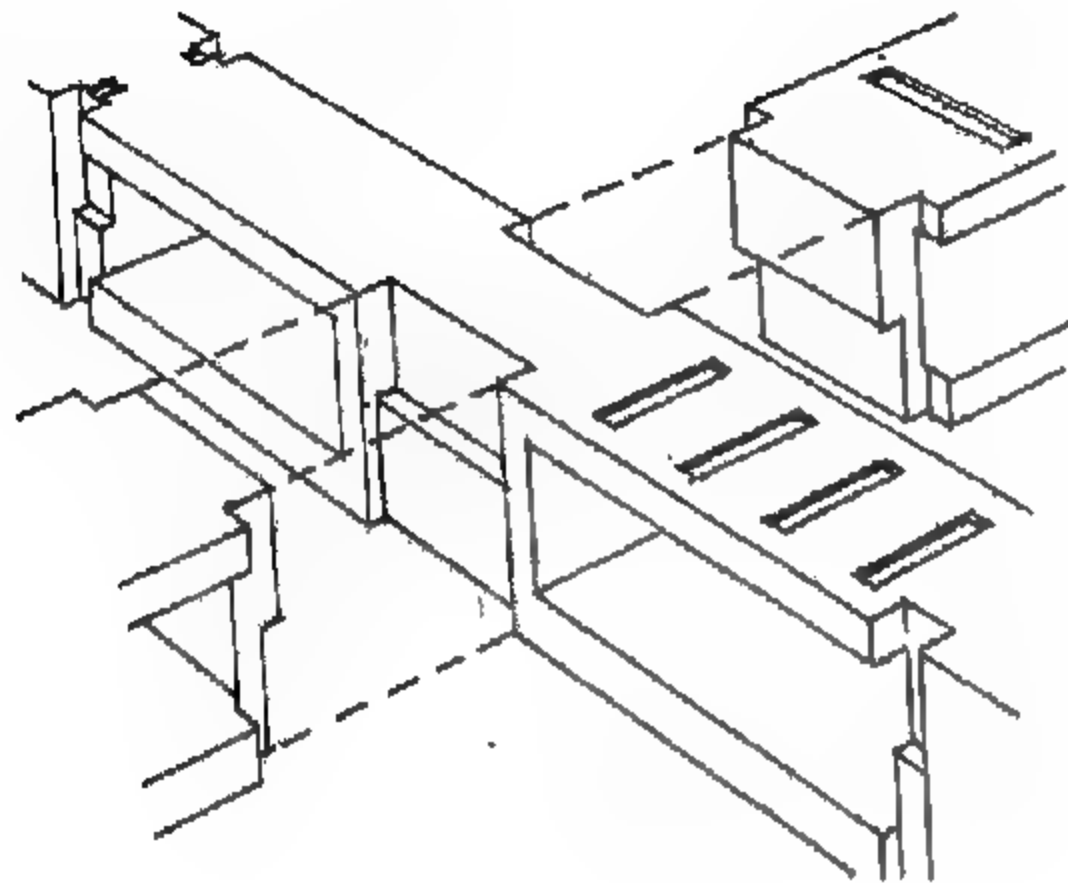


- ١ - برج العمل
- ٢ - برج الخدمات
- ٣ - قسم الحيوان
- ٤ - هواء مكيف
- هـ - هواء خارجي
- خ - هواء خارج

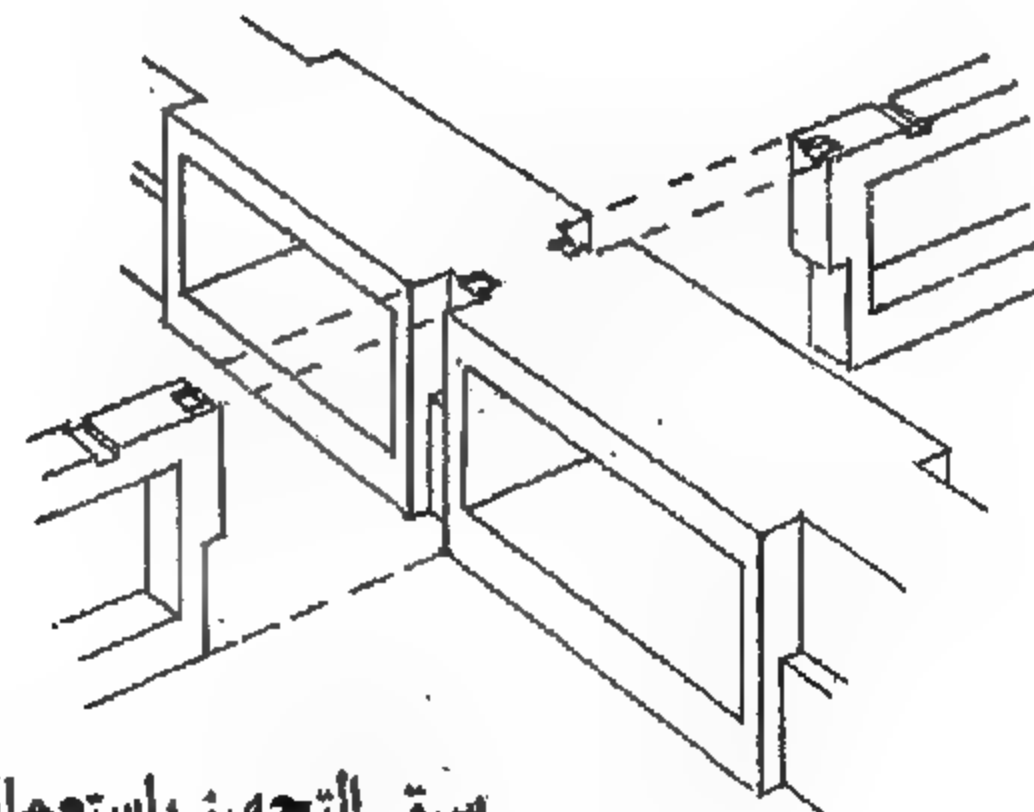
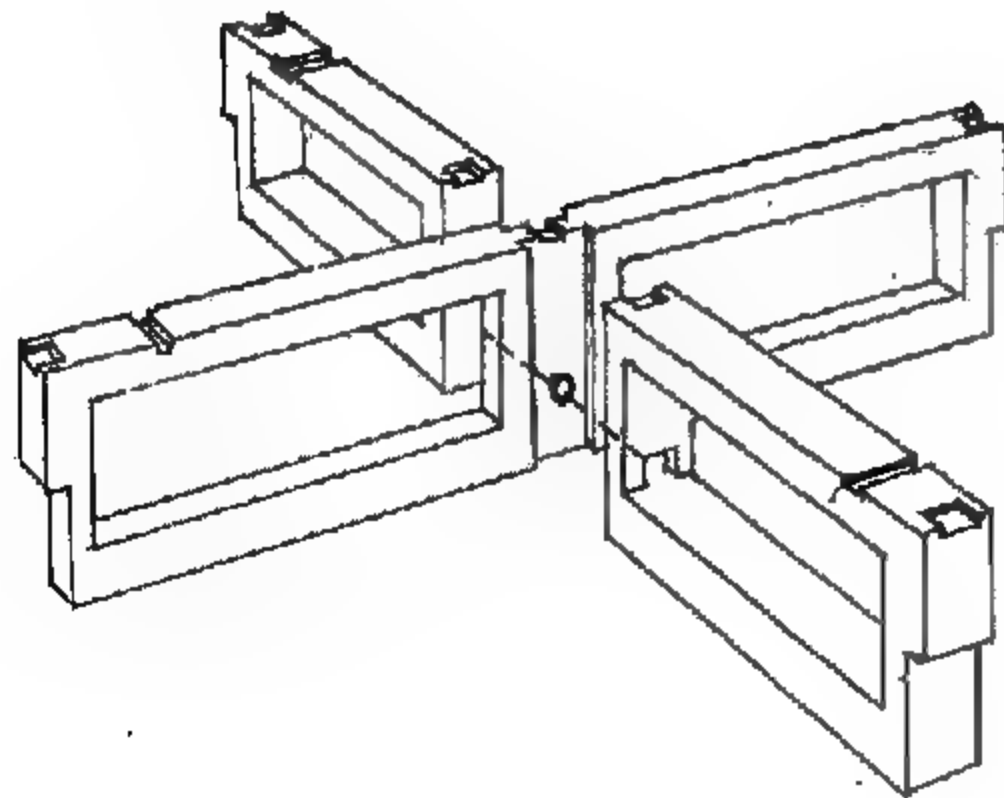
سبق التجهيز باستعمال وحدات جمالونات خفيفة

(شكل ١٠٤) معهد الأبحاث الطبي بينسلفانيا
بولاية فلادلفيا - مسقط أفقي للدور
ومنظور لإنشاء السقف .



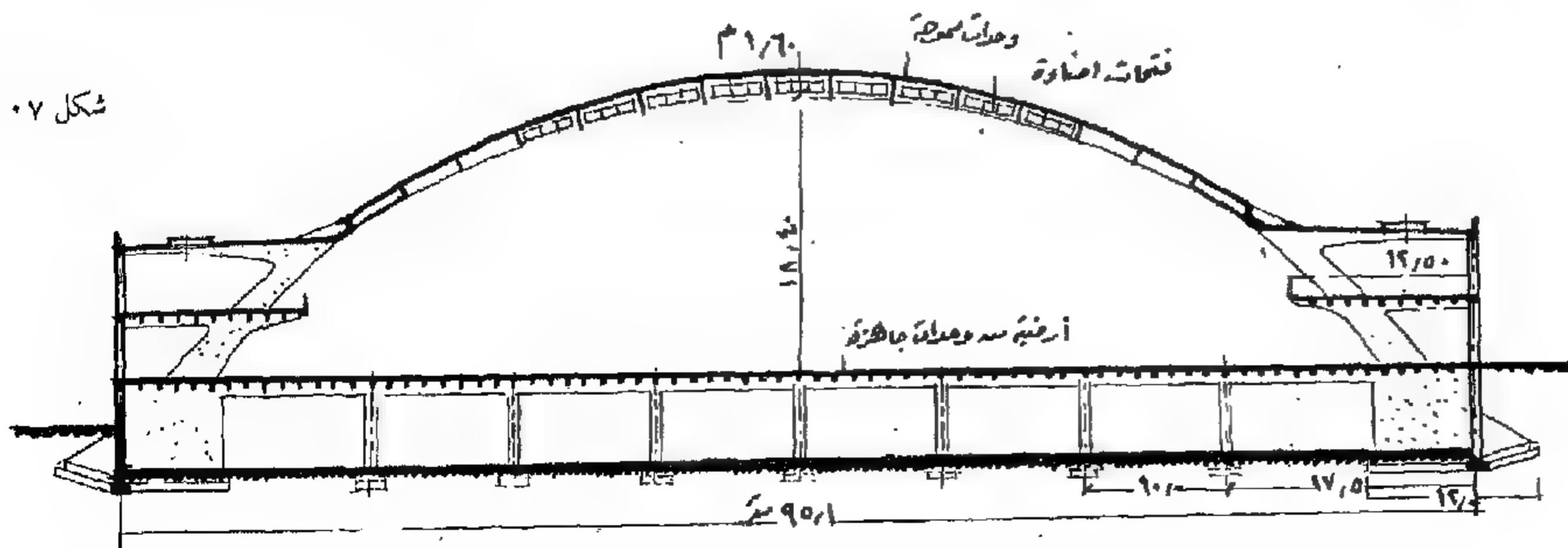
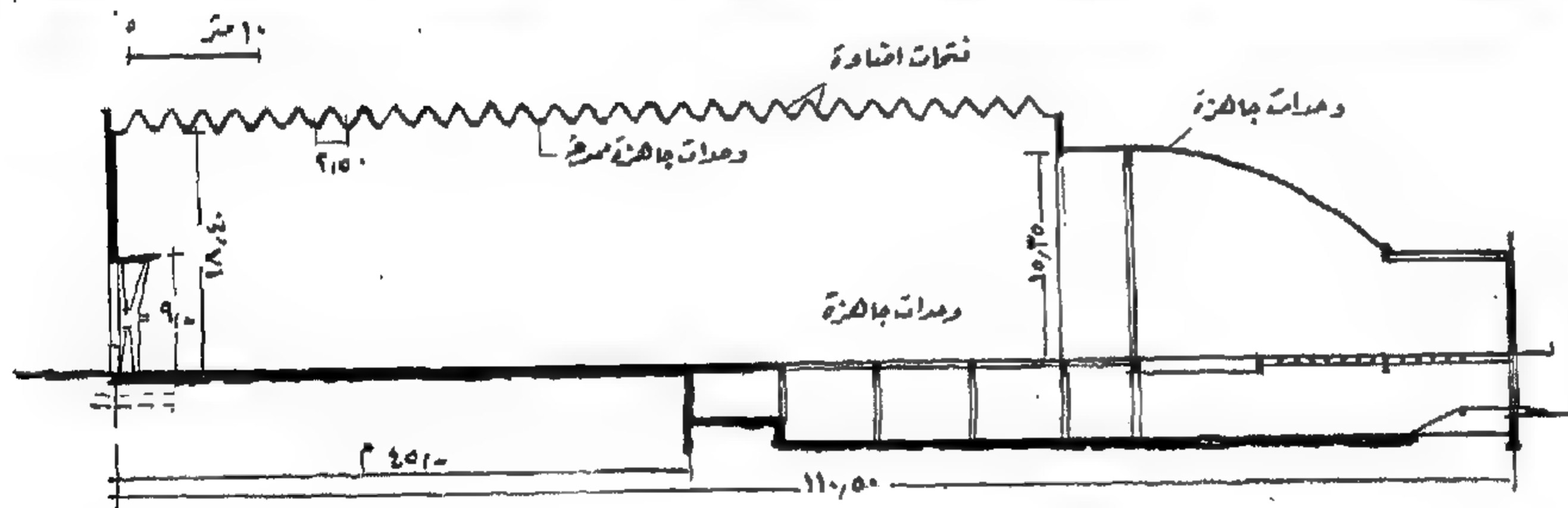
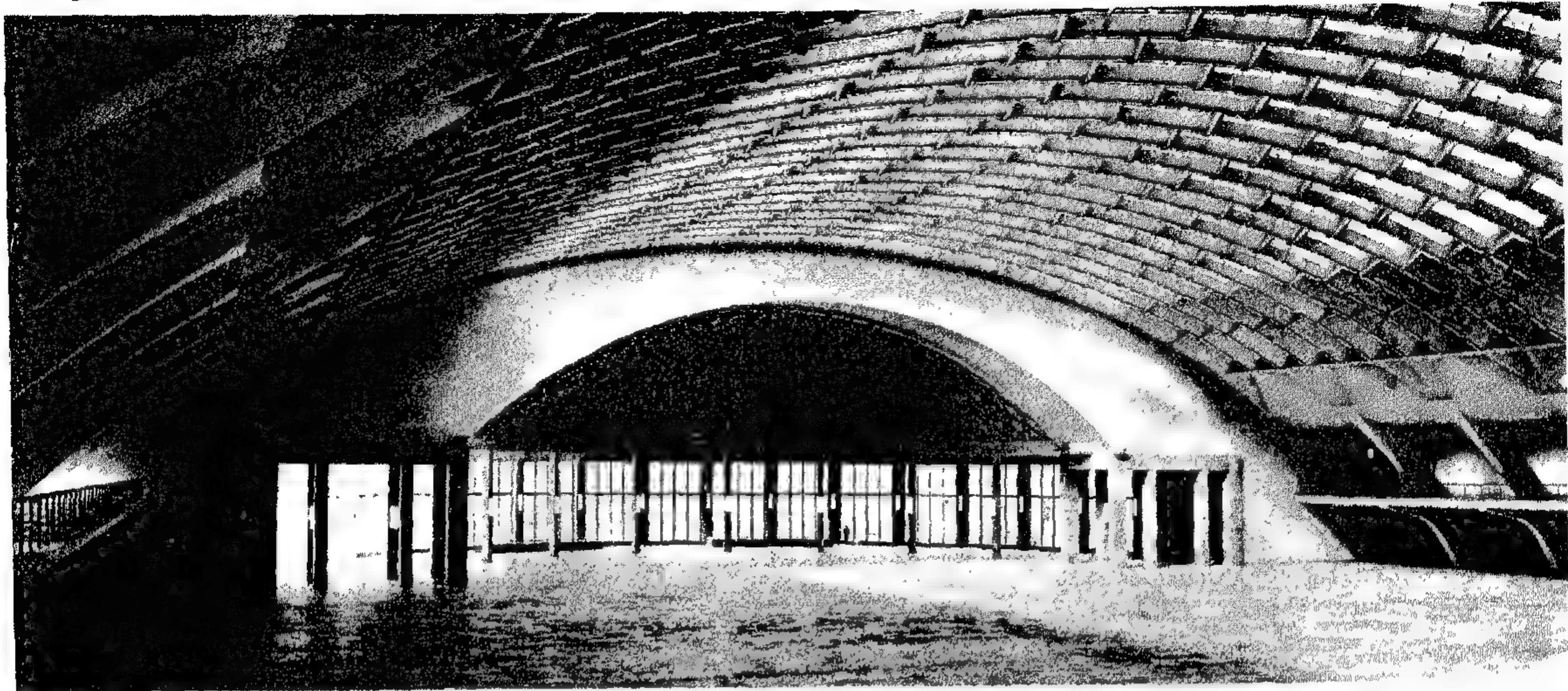


شكل ١٠٥



سبق التجهيز باستعمال وحدات
جمالونات خفيفة

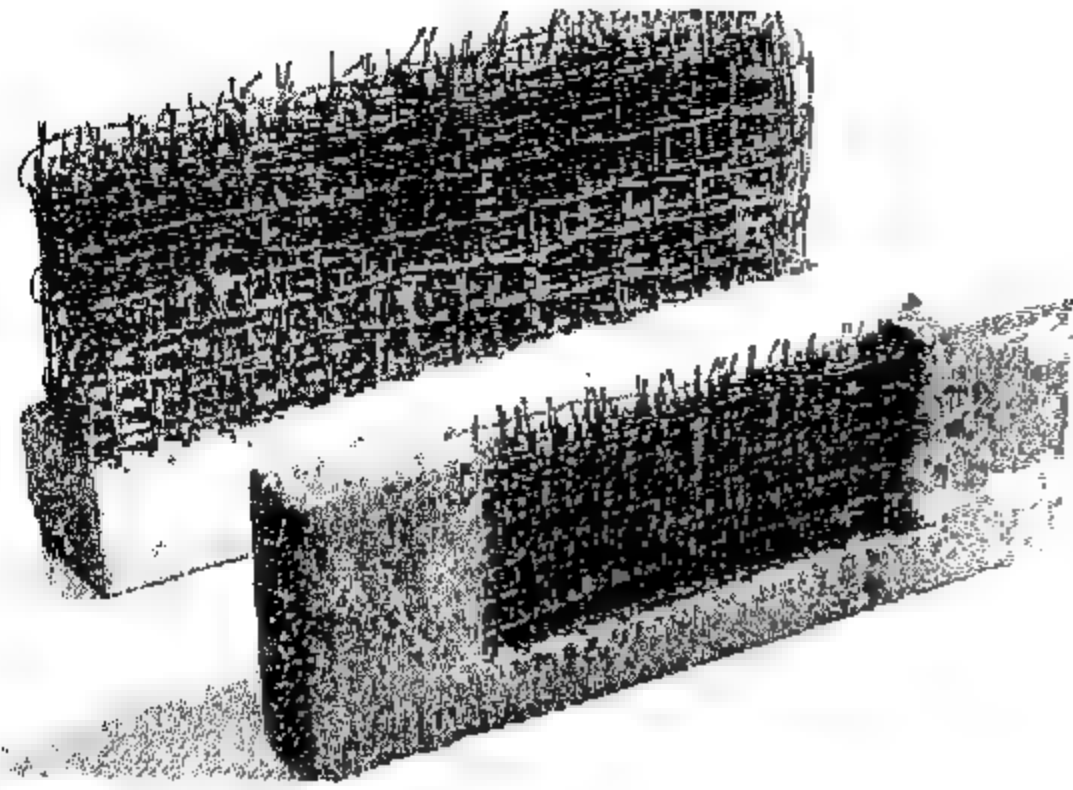
(شكل ١٠٥) تفصيلات الوصلات في
الأسقف الجاهزة .



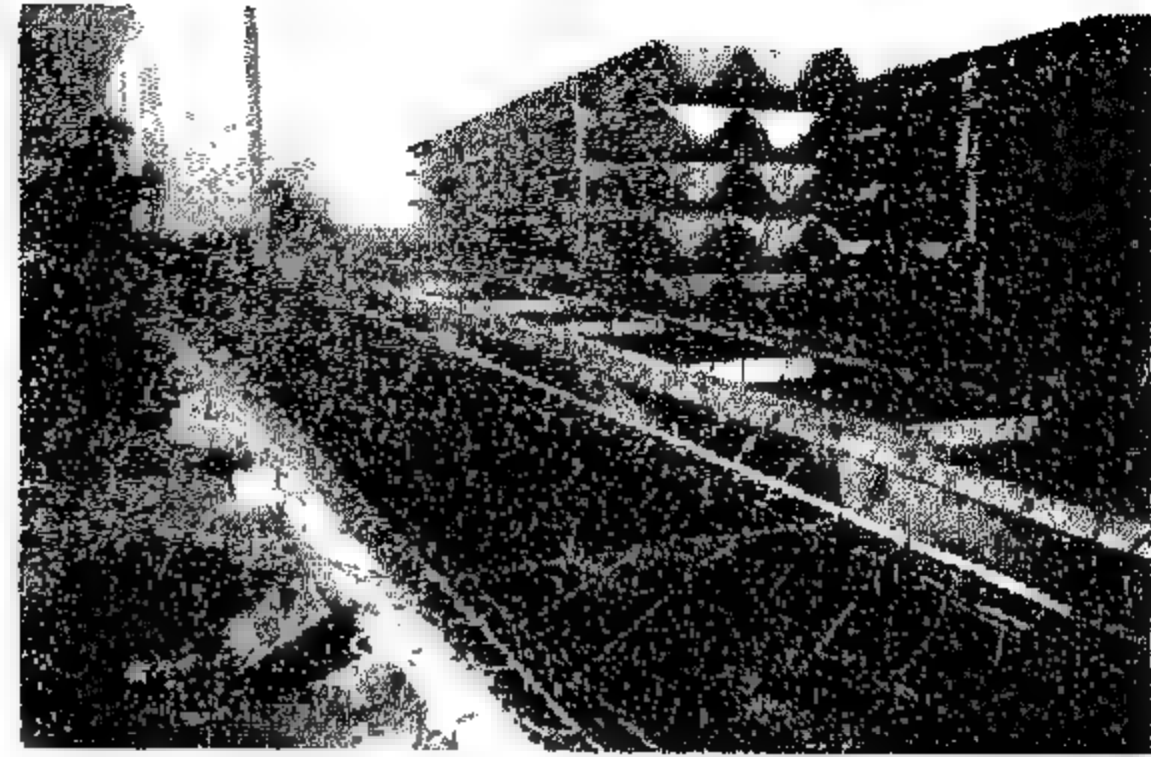
سبق التجهيز - وحدات أسمنت مسلح موجهة

(شكل ١٠٦) الصالة الرئيسية
لمعرض تورينو بإيطاليا ١٩٤٨ -
المهندس بيلو جي نيري.
(شكل ١٠٧) قطاع طول وعرضي
في المبنى .

شكل ١٠٨



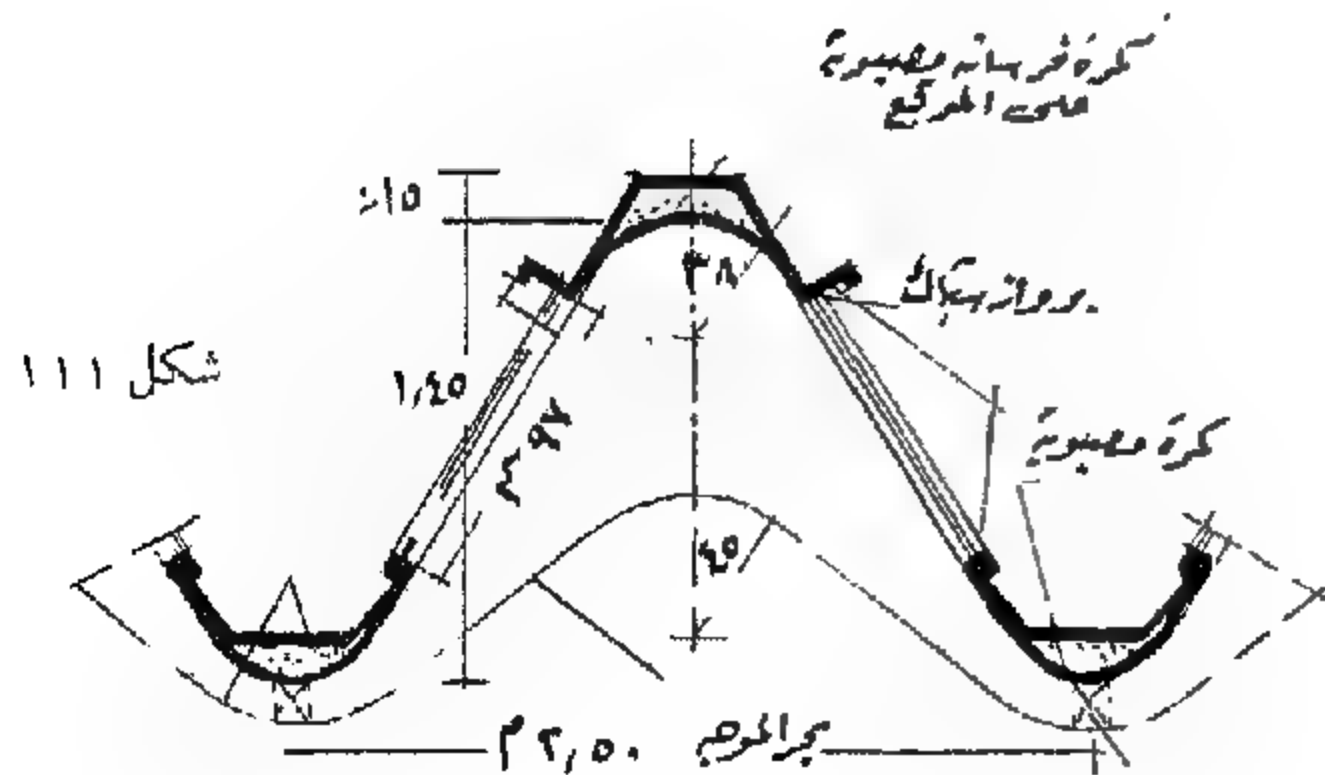
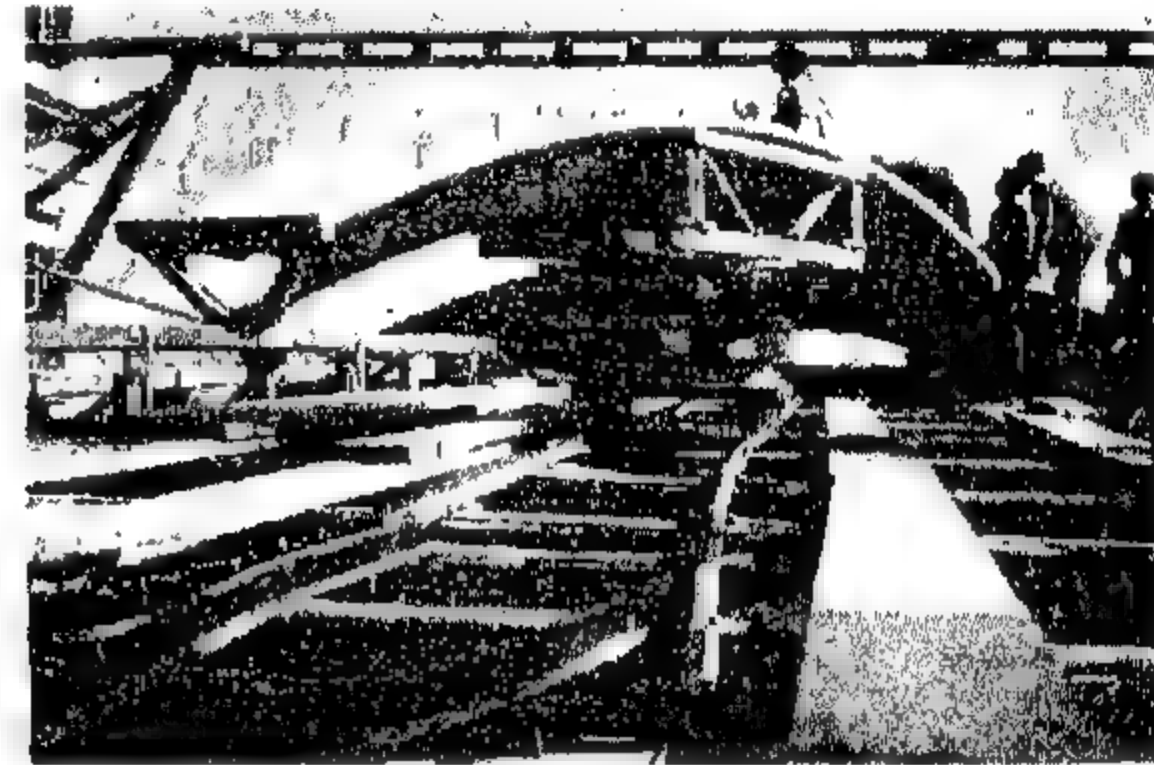
شكل ١٠٩



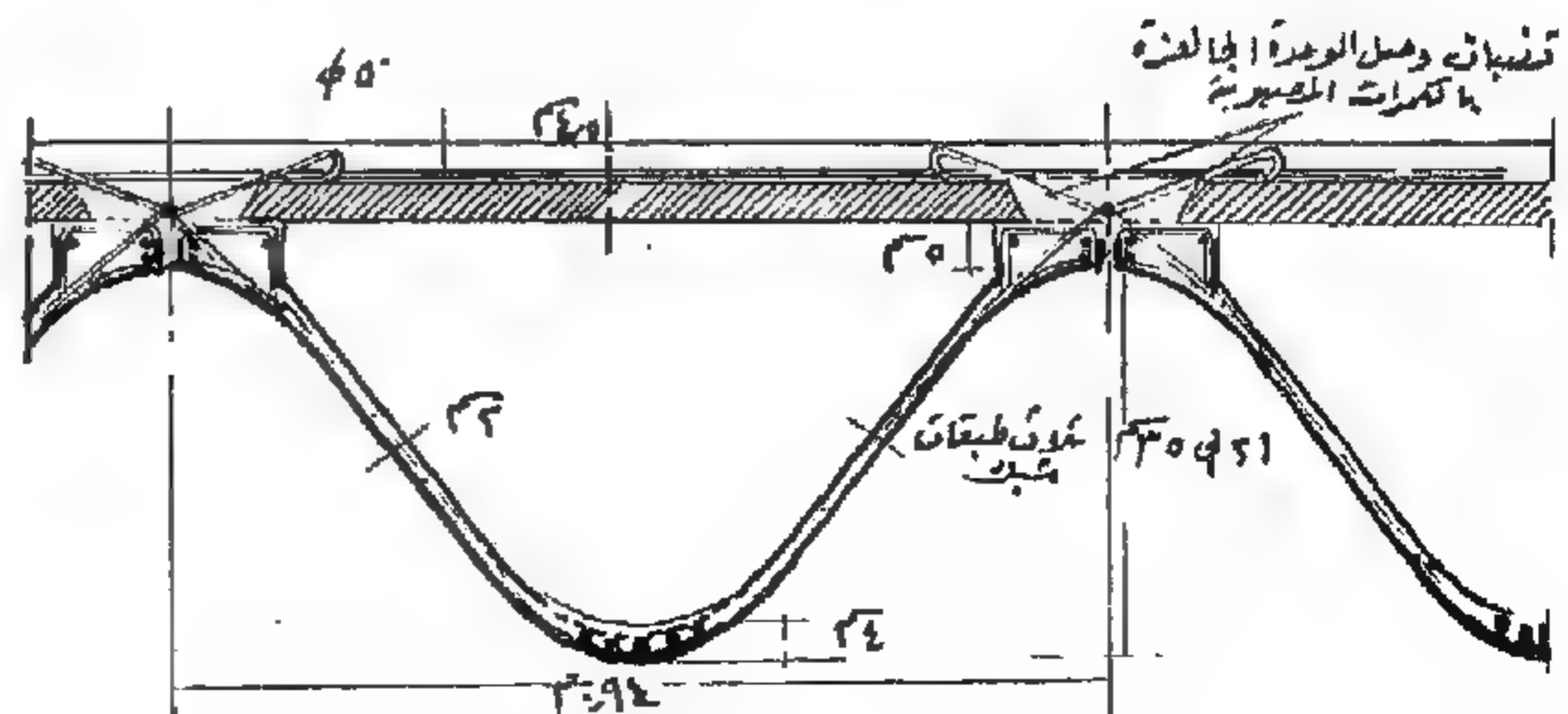
سبق التجهيز - وحدات أسمنت مسلح بموجة

- (شكل ١٠٨) بلاطات أسمنت مسلح .
- (شكل ١٠٩) استعمال صلبات خارجية فقط في أشكال الأسمنت المسلح
- (شكل ١١٠) نقل الوحدات المموجة الجاهزة لموضعها النهائي في سقف حمام سباحة الكلية البحرية في ليجهورن .
- (شكل ١١١) قطاع عرضي في الوحدة المموجة في صالة تورينو الرئيسية .
- (شكل ١١٢) الوحدة المموجة مغطاة ببلاطات مجوفة وطبقة من الخرسانة مصبوبة على الموقع .

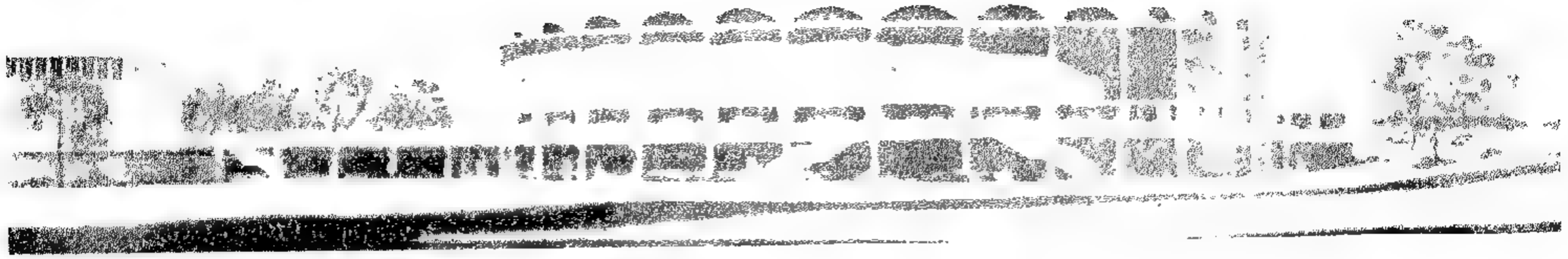
شكل ١٠



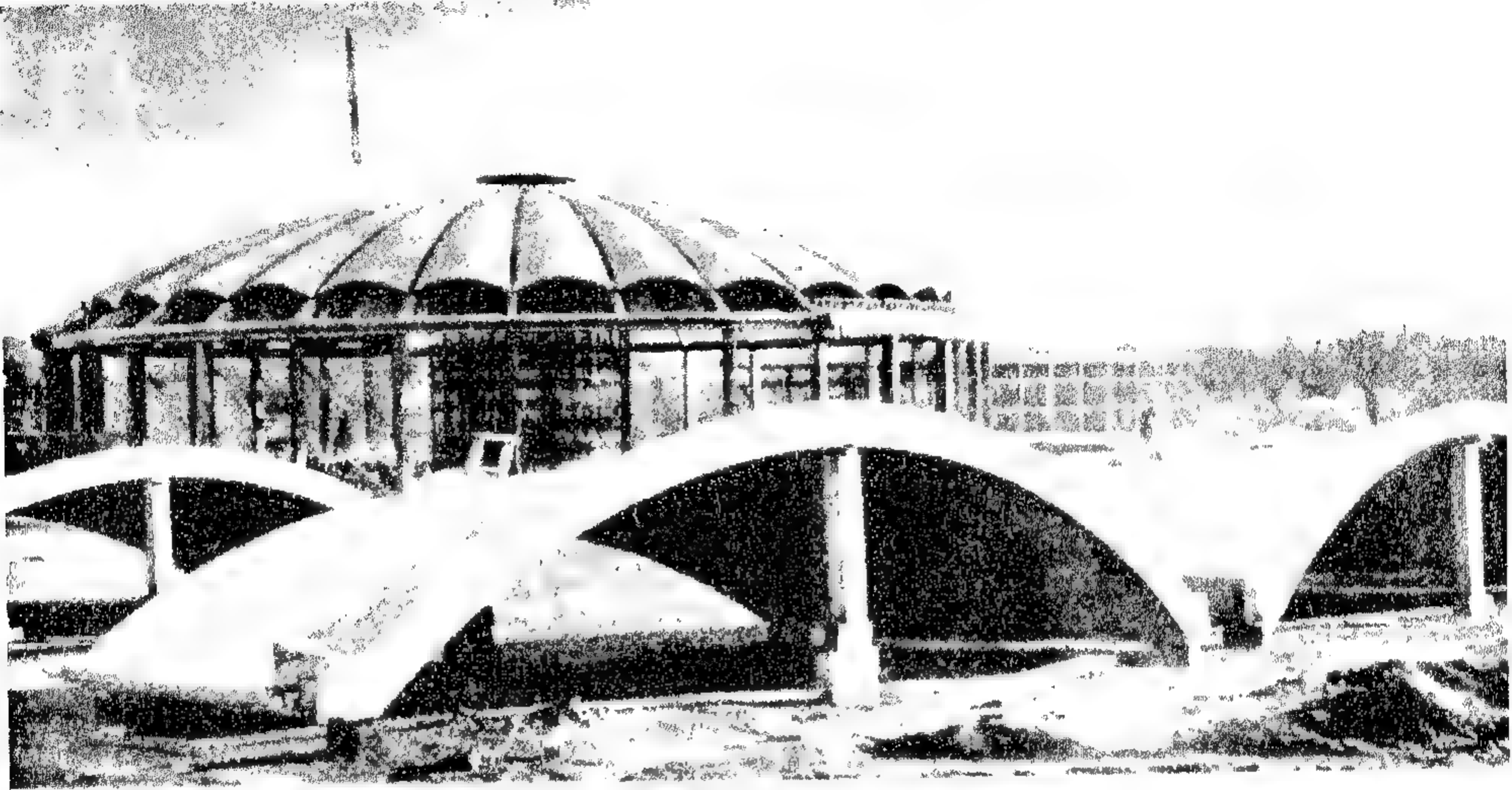
شكل ١١١



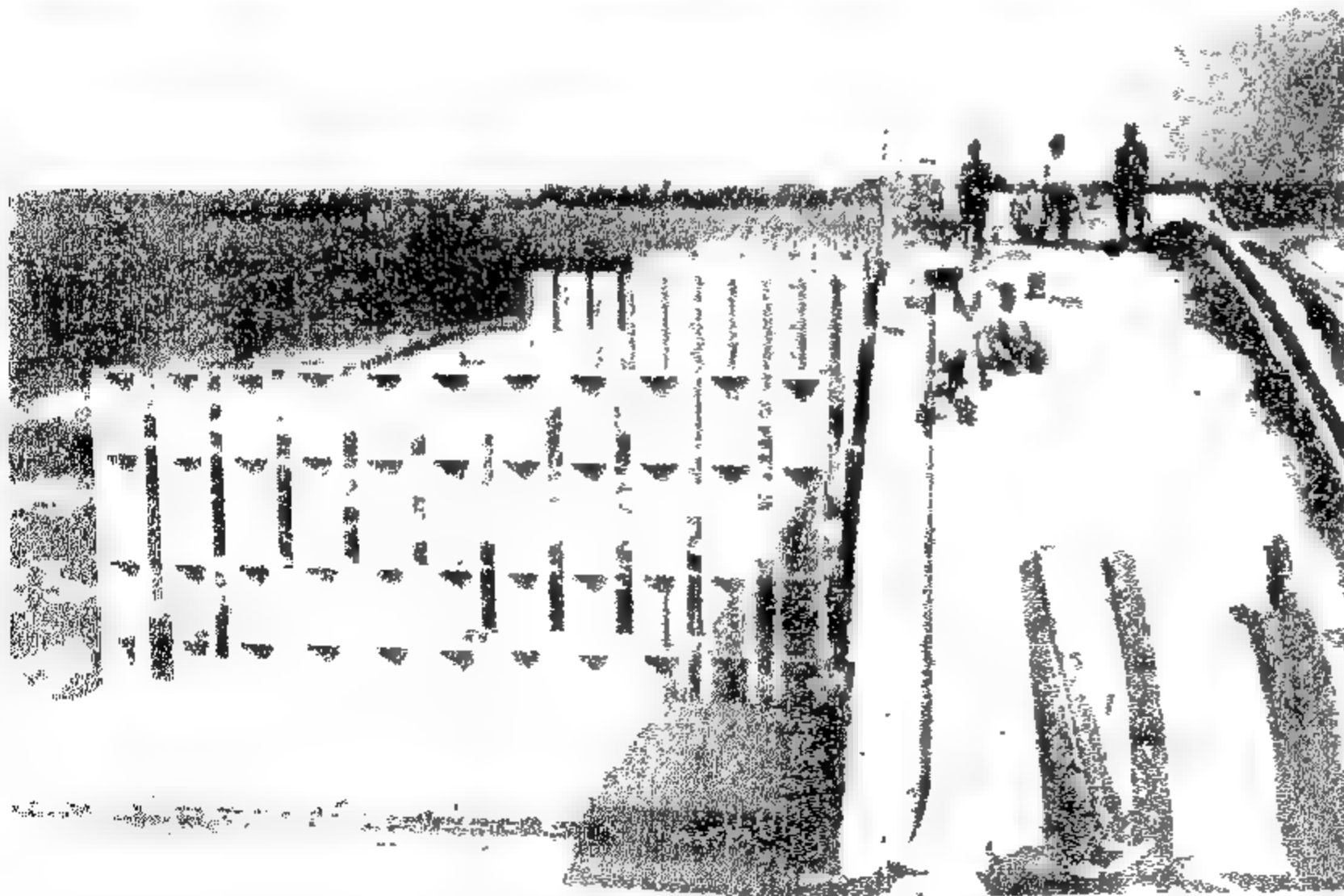
شكل ١١٢



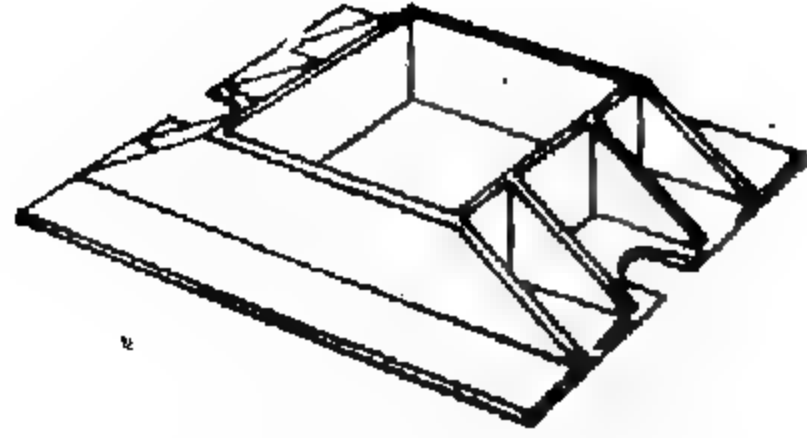
شكل ١١٢



شكل ١١٤

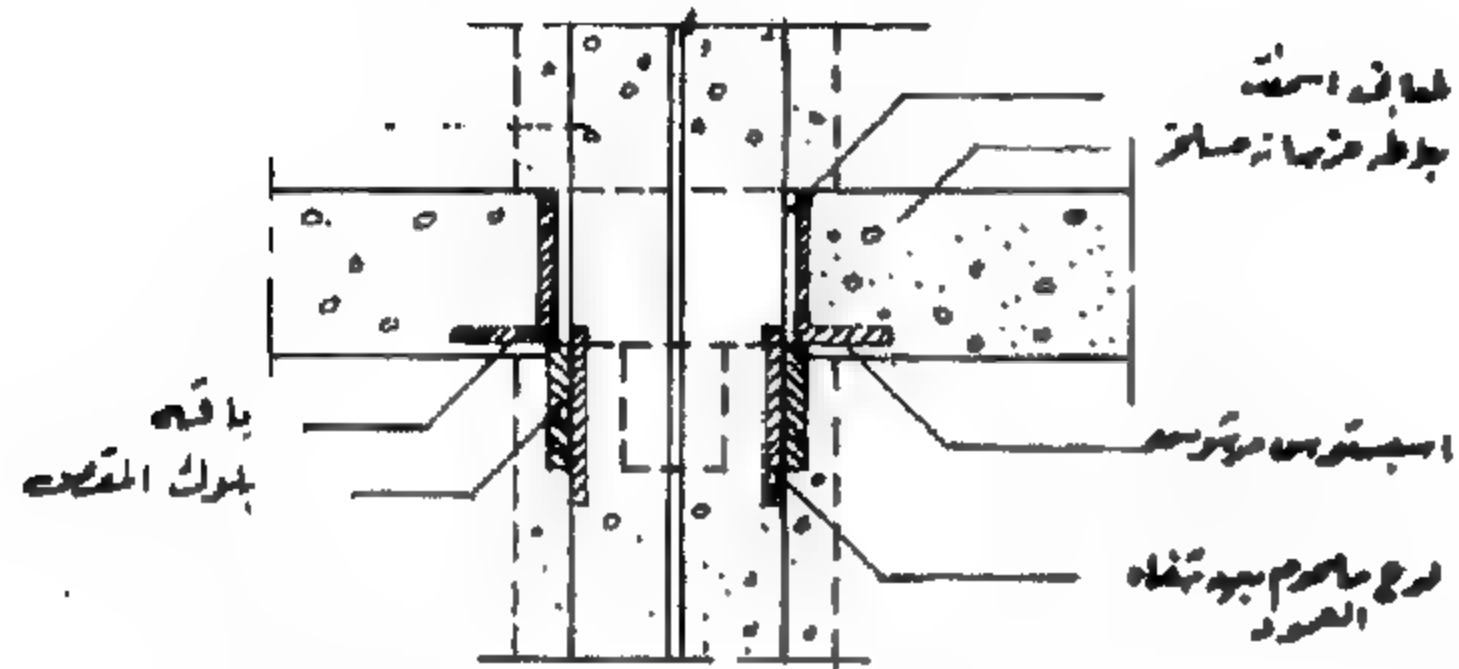


سبق التجهيز على الموقع
(شكل ١١٣) سقف قشري دائري قطر ٩٠
متراً لمسرح وجنازيوم بجامعة فرجينيا
سنة ١٩٦٥ .
(شكل ١١٤) وحدات جاهزة مثثة القطاع
تحمل أسقف حظيرة طائرات في بانسيكو
بيوغوسلافيا - المهندس الإنشائي لافاي .

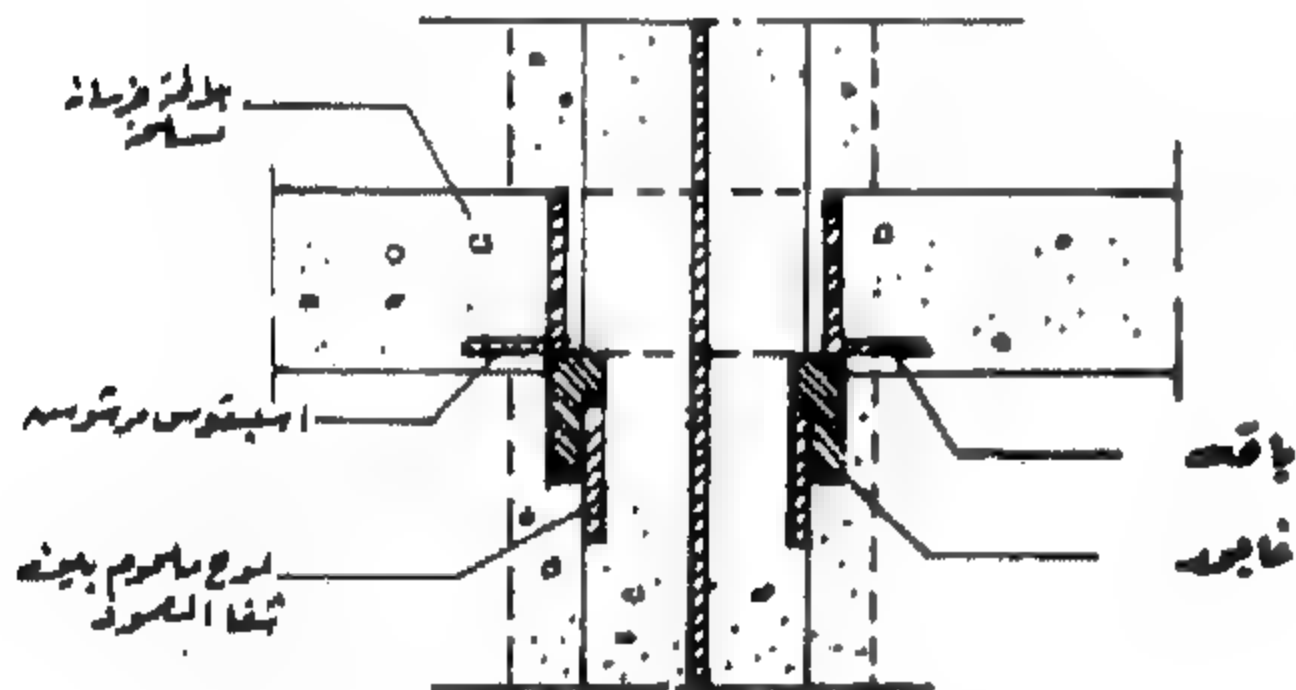


شكل ١١٦

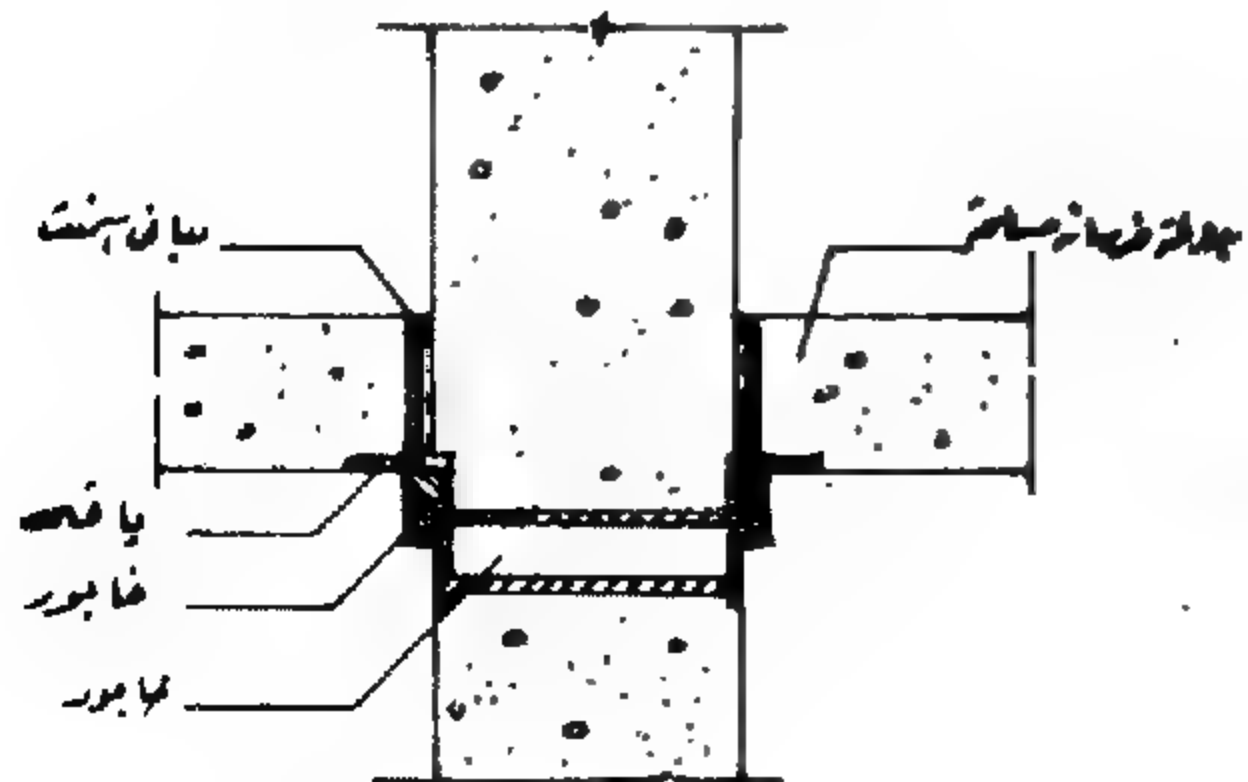
العمود الصلب الذي تستعمل فيه رصطة إيه بيه بيه



الرصطة بالعمود الصلب باستعمال خام طرفي أفقي على الموقع



الرصطة بالعمود الصلب مرسومه في المصنع

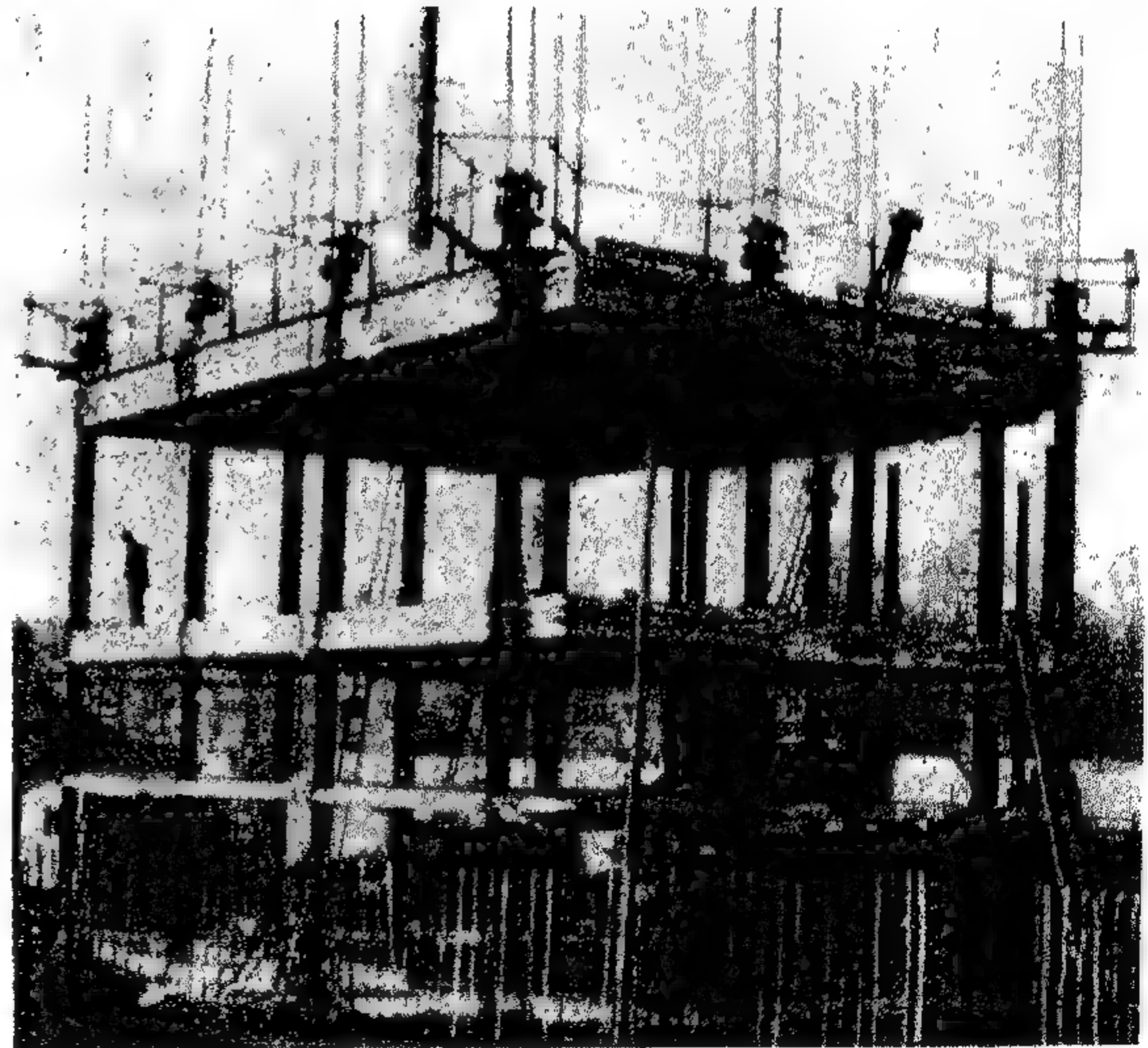


الرصطة بالعمود خزانة

سبق التجهيز بطريقة البلاطات المرفوعة

(شكل ١١٥) المرحلة الأولى في بناء بلوك من تسعة أدوار - السقف الأول في موضعه النهائي - البلاطات ٢، ٣، ٤ أثناء رفعها - الخمس بلاطات العليا منتظرة في أعلى الأعمدة. (شكل ١١٦) تفصيلات لوصلات البلاطة بأعمدة من الصلب والحرسنة.

شكل ١١٥

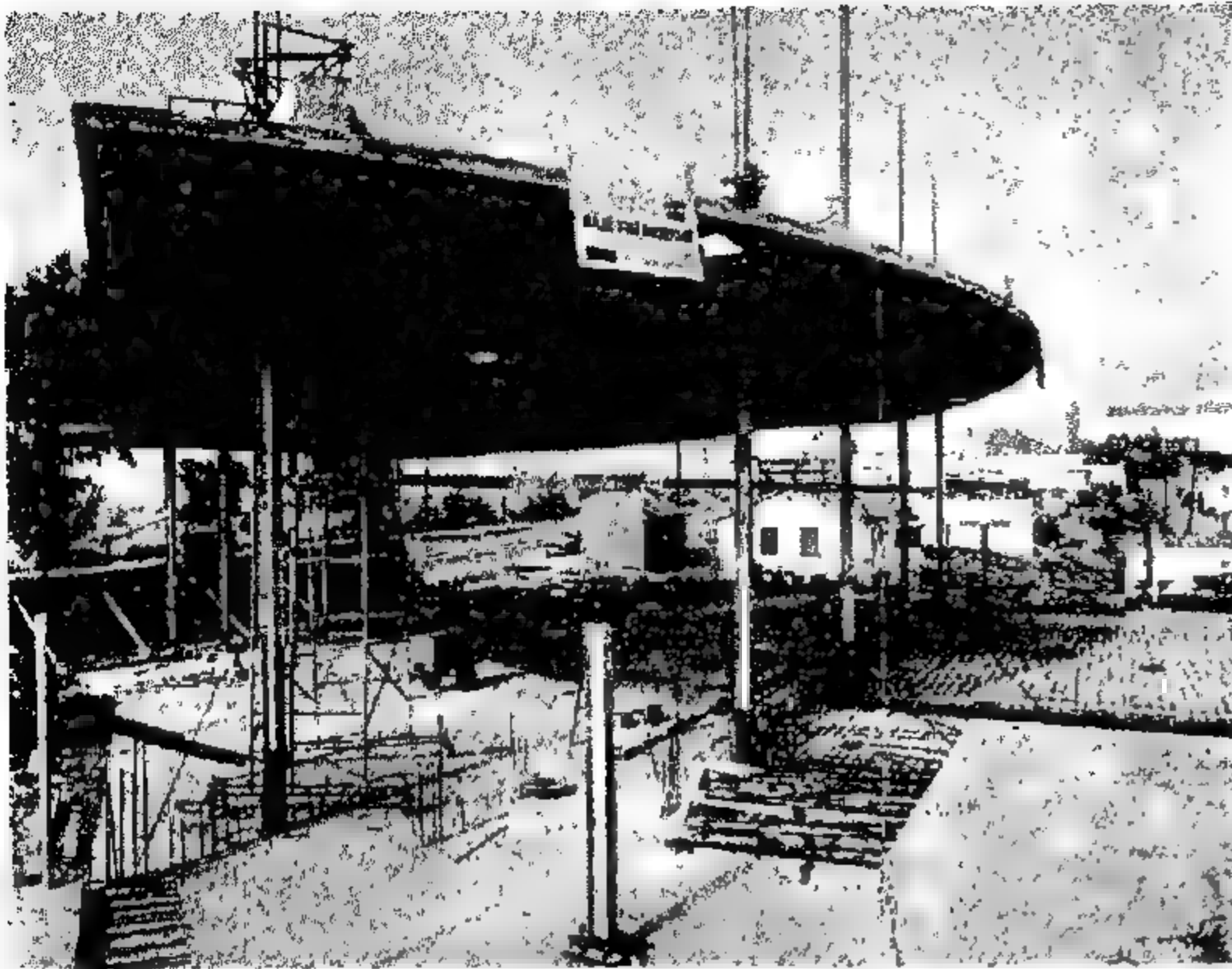


سبق التجهيز بطريقة البلاطات المرفوعة أشكال غير مستطيلة

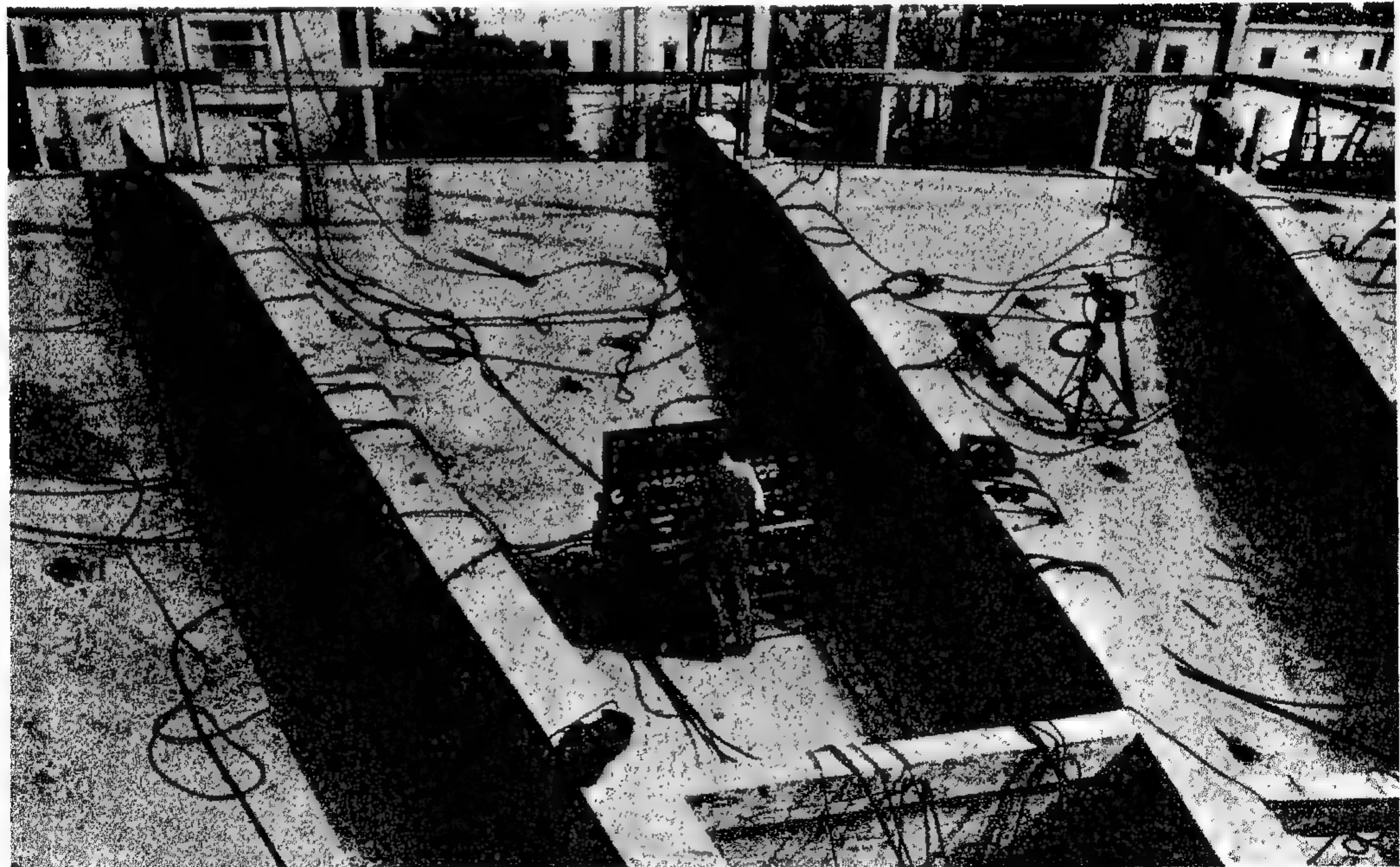
(شكل ١١٧) سقف على شكل مروحة لمعهد
اسحق بلبوس انجلوس .

(شكل ١١٨) منظر علوى لسقف معهد إسحق
وفيه تظهر الكمرات المقلوبة ولوحة التوزيع.

شكل ١١٧

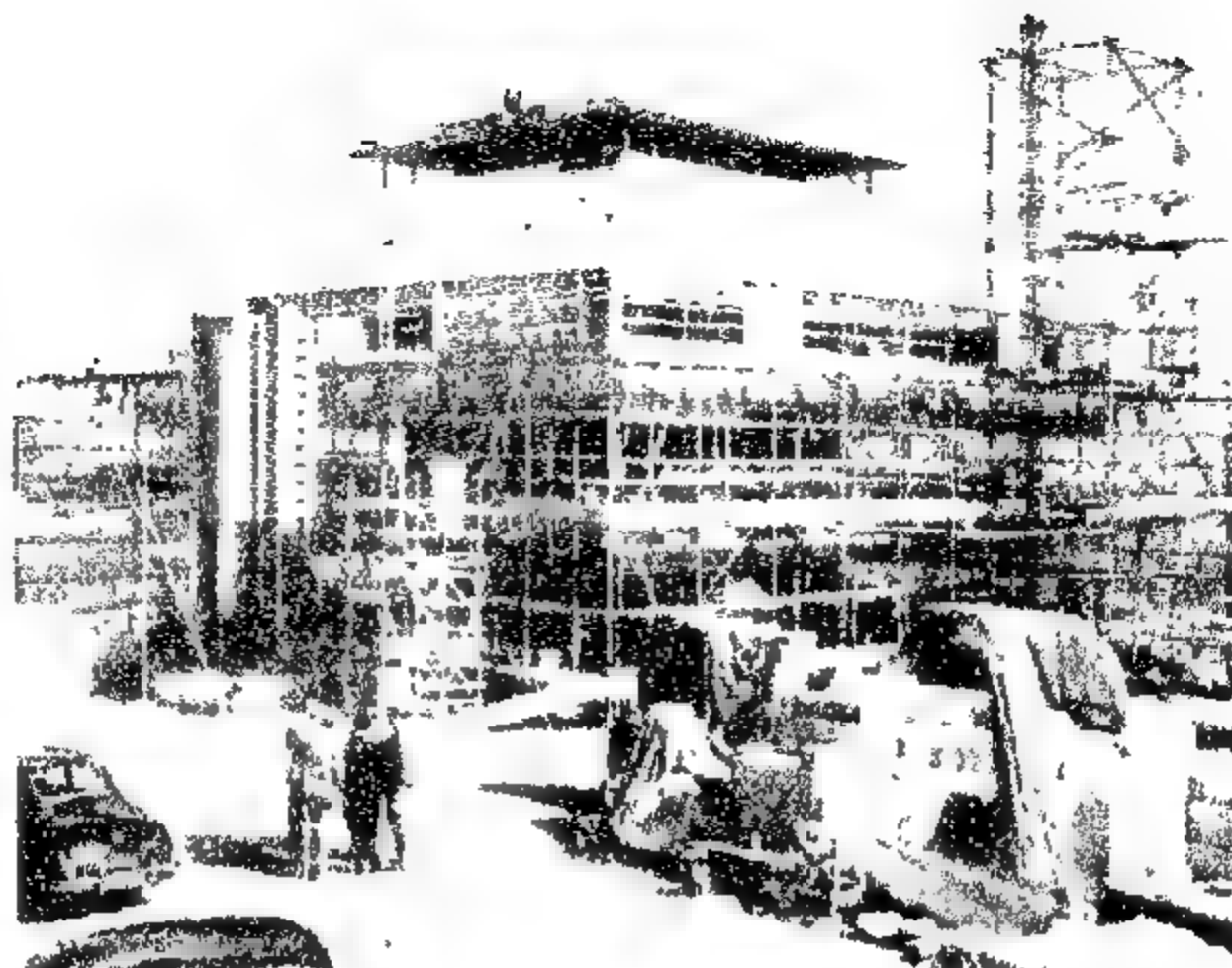
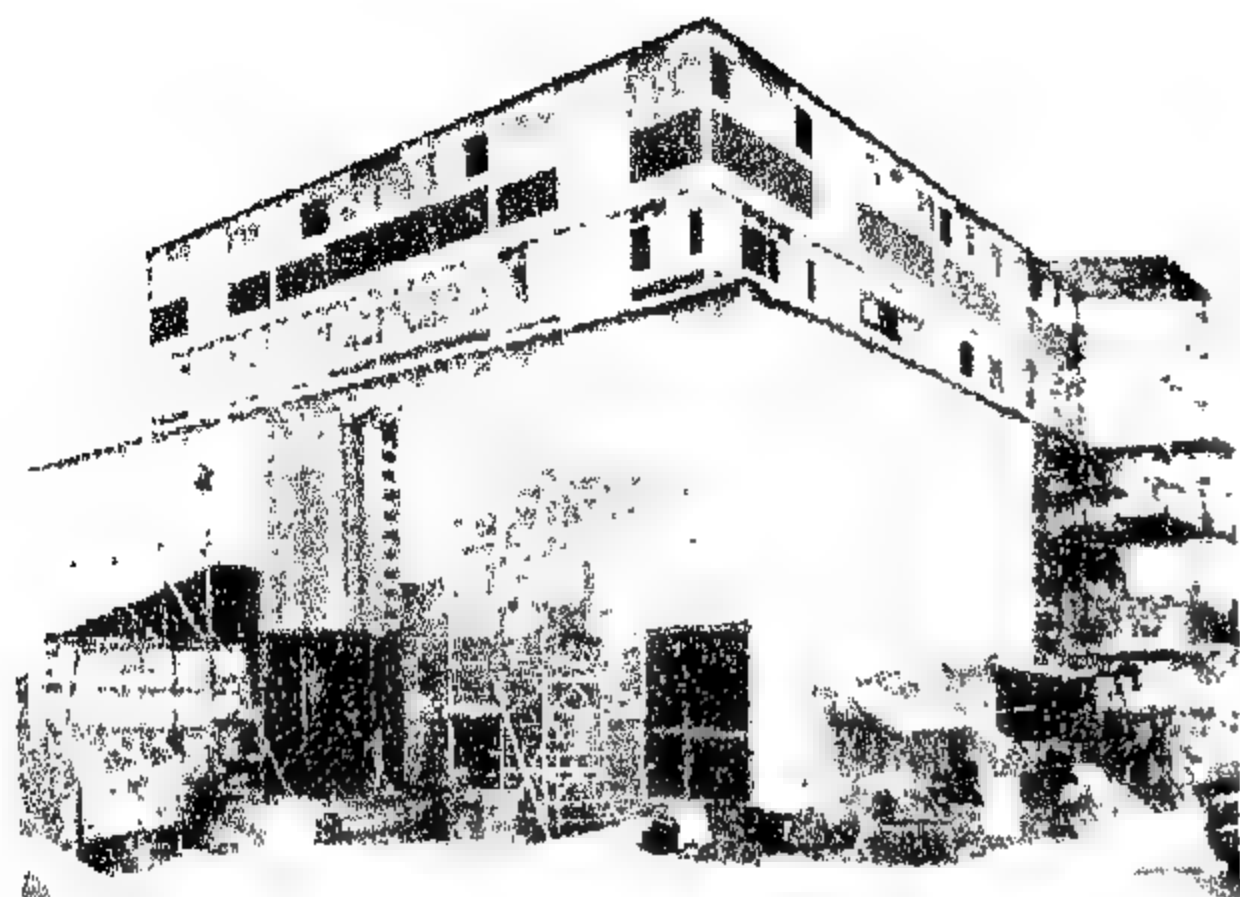


شكل ١١٨



شكل ١١٩

شكل ١٢٠



سبق التجهيز بطريقة جاك بلوك

(شكل ١١٩) ٣ أدوار في سبتمبر سنة ١٩٦٢

(شكل ١٢٠) ٥ أدوار مع استعمال غشاء

بلاستيك حول الموقع

(شكل ١٢١) ٦ أدوار إلى أعلى

(شكل ١٢٢) العمارة في مارس سنة ١٩٦٣

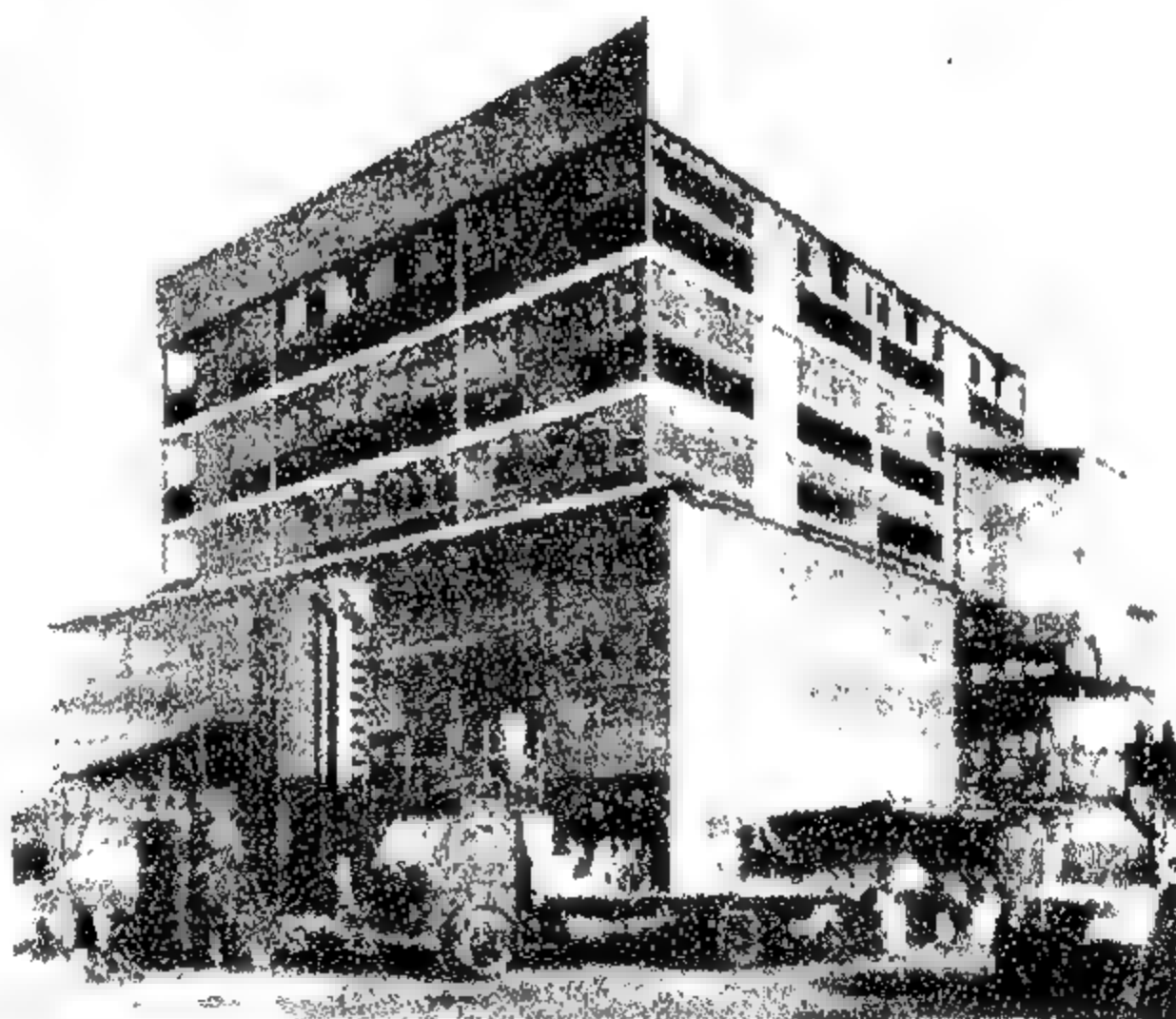
(شكل ١٢٣) مسقط الدور المتكرر مبينا

موضع حوائط القلب التي رفعت العمارة من

تحتها .

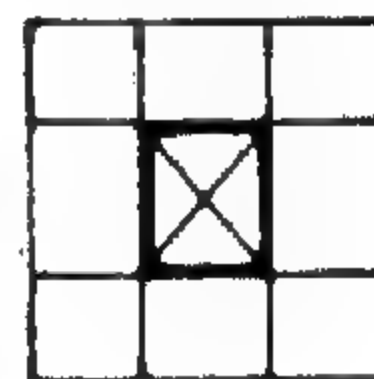
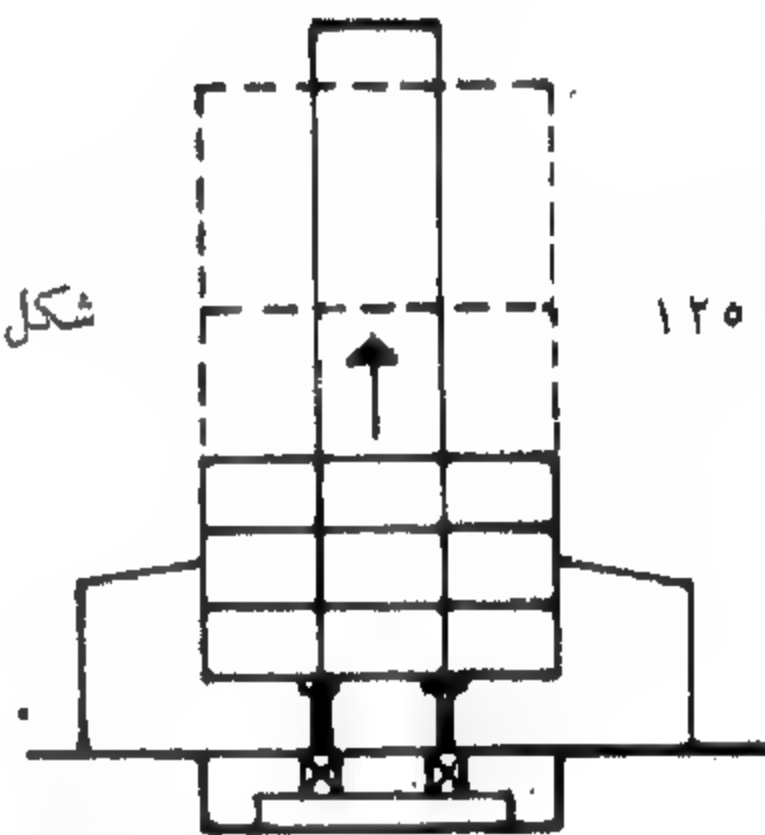
(شكل ١٢٤) مسقط الدور الأرضي .

(شكل ١٢٥) قطاع



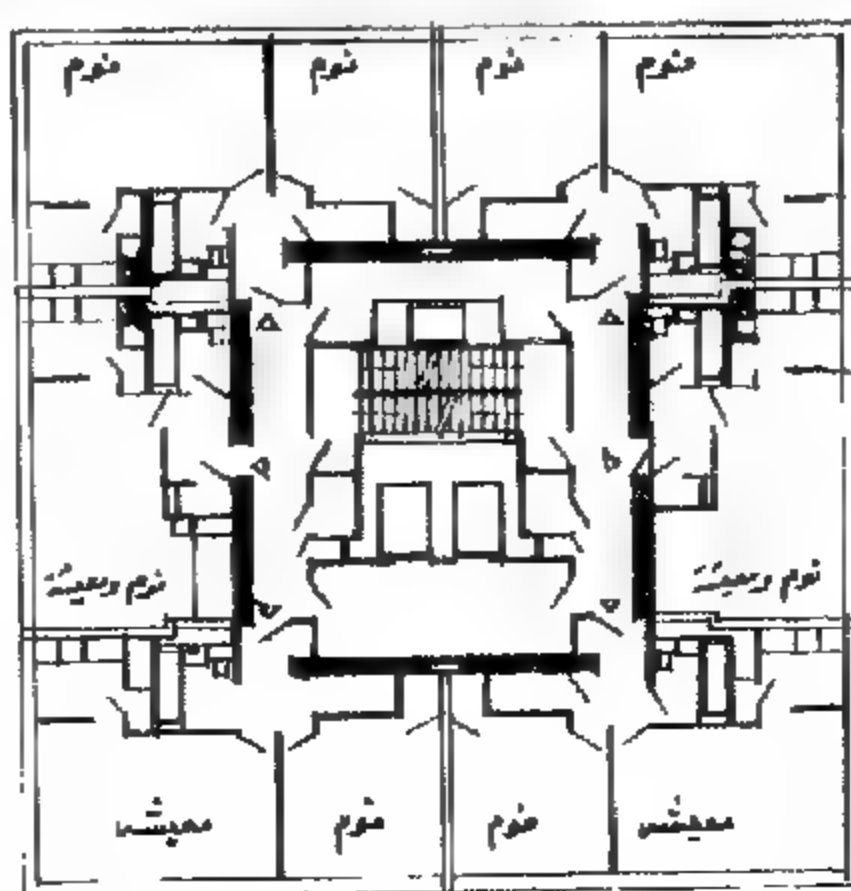
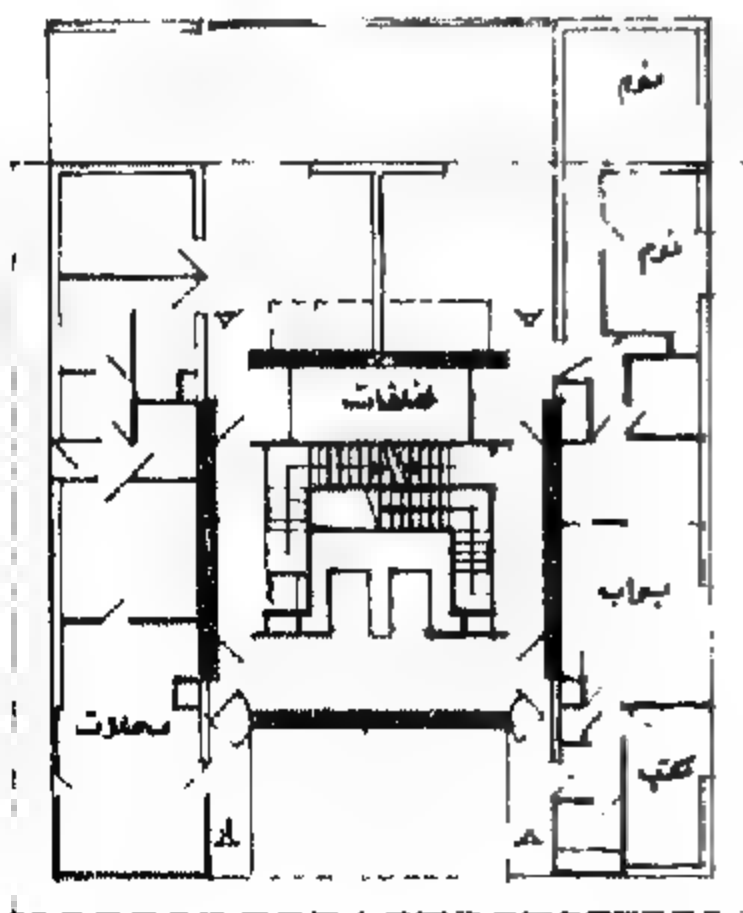
شكل ١٢١

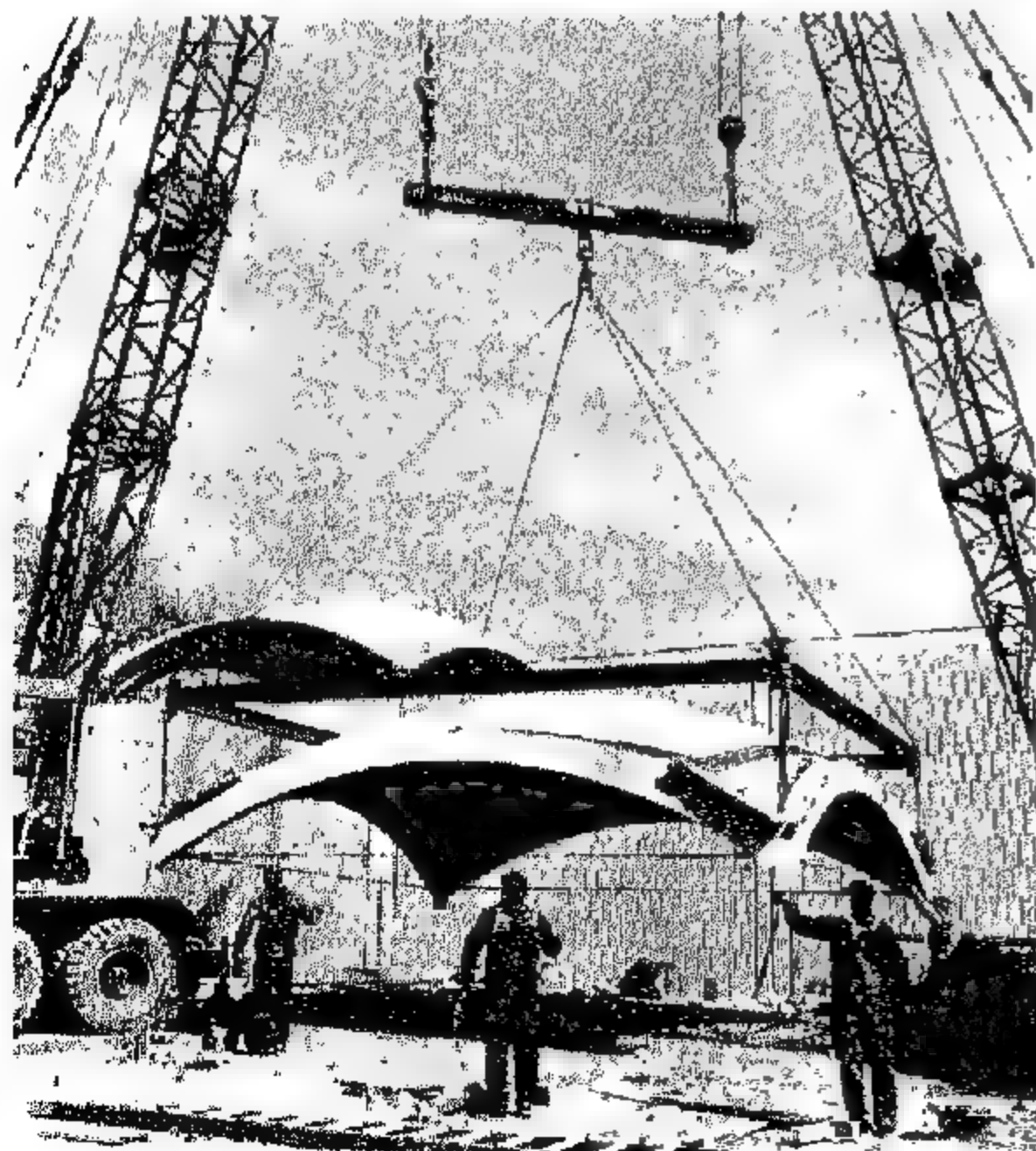
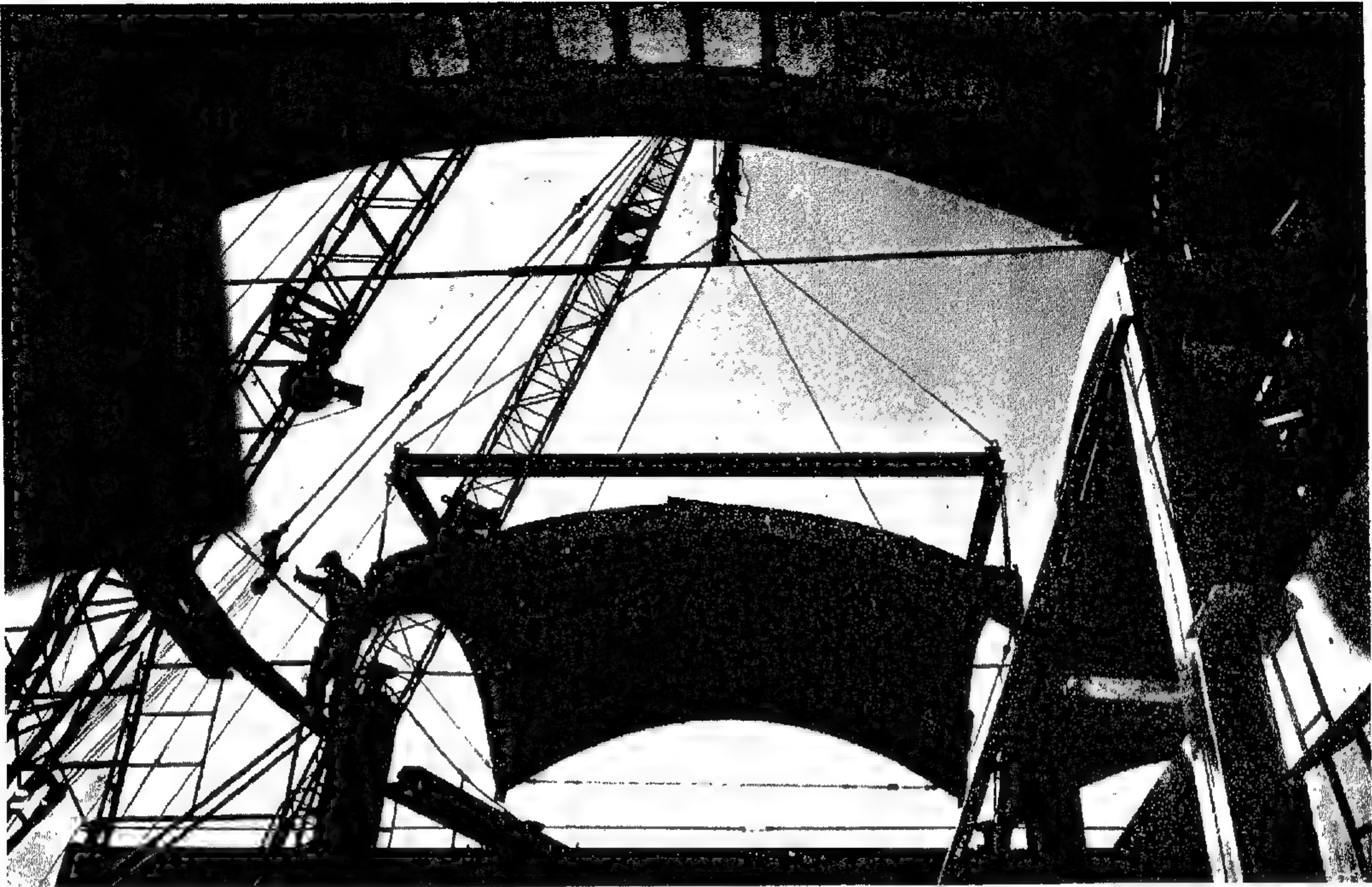
شكل ١٢٥



شكل ١٢٤

شكل ١٢٣

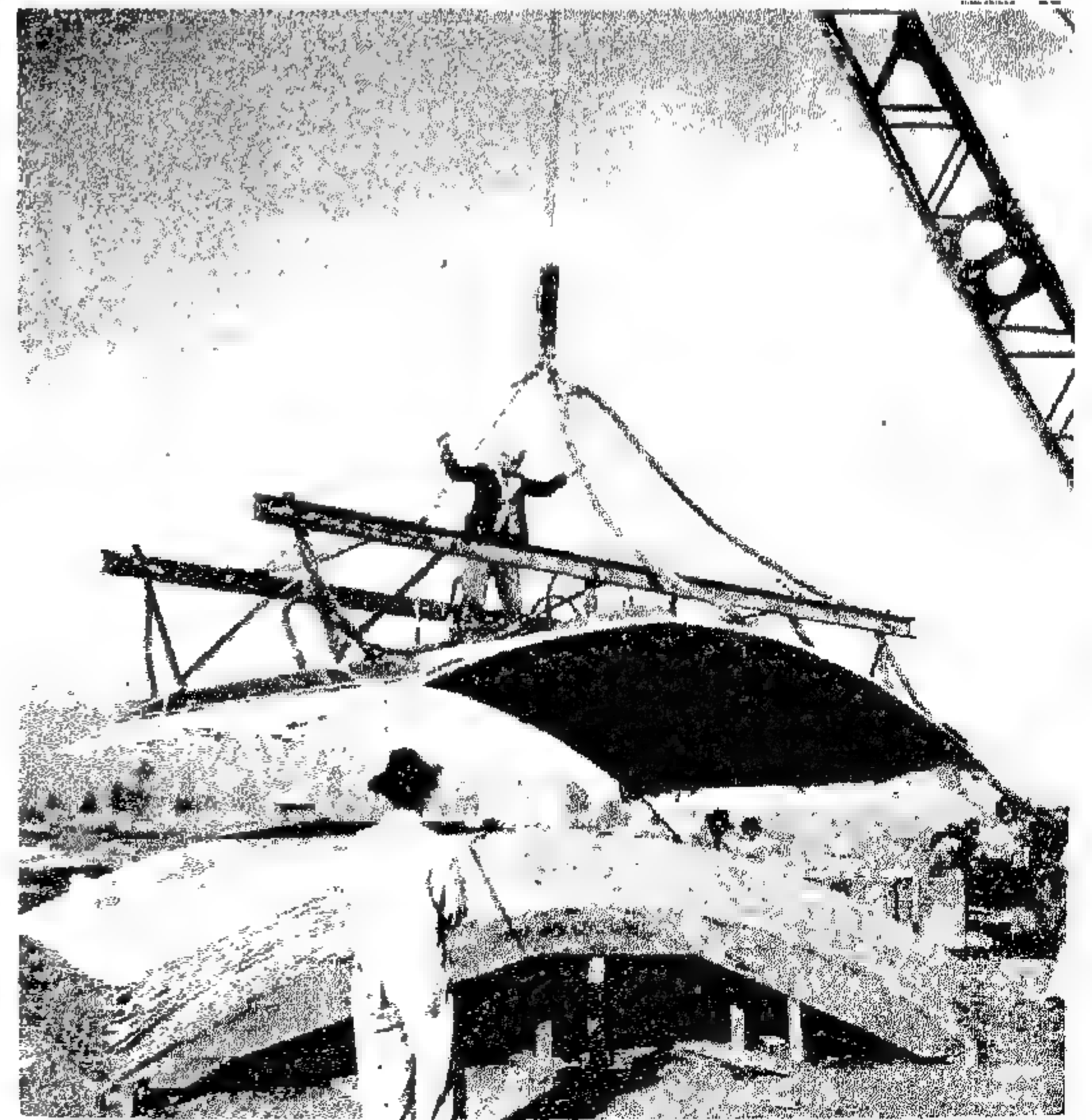




شكل ١٢٧

سبق التجهيز رفع الصدفات القشرية

(شكل ١٢٦) وحدات جاهزة قشرية انتقالية
ترفع لموضعها النهائي في سوق تجارى بمدينة
نيو كانن بولاية كنتكت . (المعمارين
فكتور كرايست - چانز وشركاؤهم ،
والإنشائيين ولنجروسا القادورى)
(شكل ١٢٧) سوق نيو كانن - الرفع من
طريق هيكل حديلى خاص .



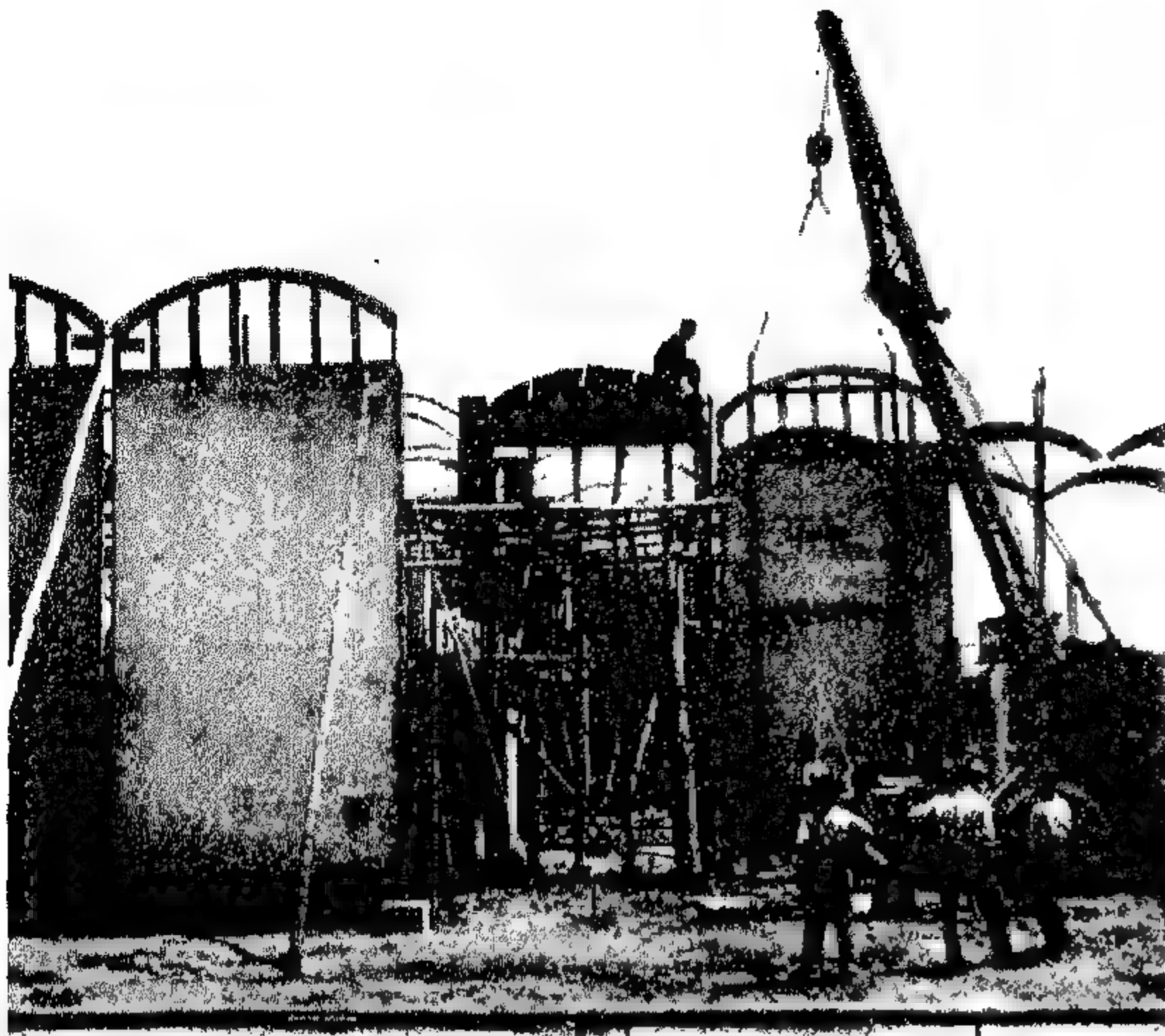
سبق التجهيز - رفع الصدفات القشرية

قبوات المهندسين سولانو وأورتيجا
(شكل ١٢٨) صب من ثلاثين إلى أربعين
صدفة واحدة فوق الأخرى في مشروع
إسكان شعبي في بوجوتا بكولومبيا .
(شكل ١٢٩) تجفيف الخرسانة بالتفريغ .
(شكل ١٣٠) رفع الصدفات بالتفريغ .

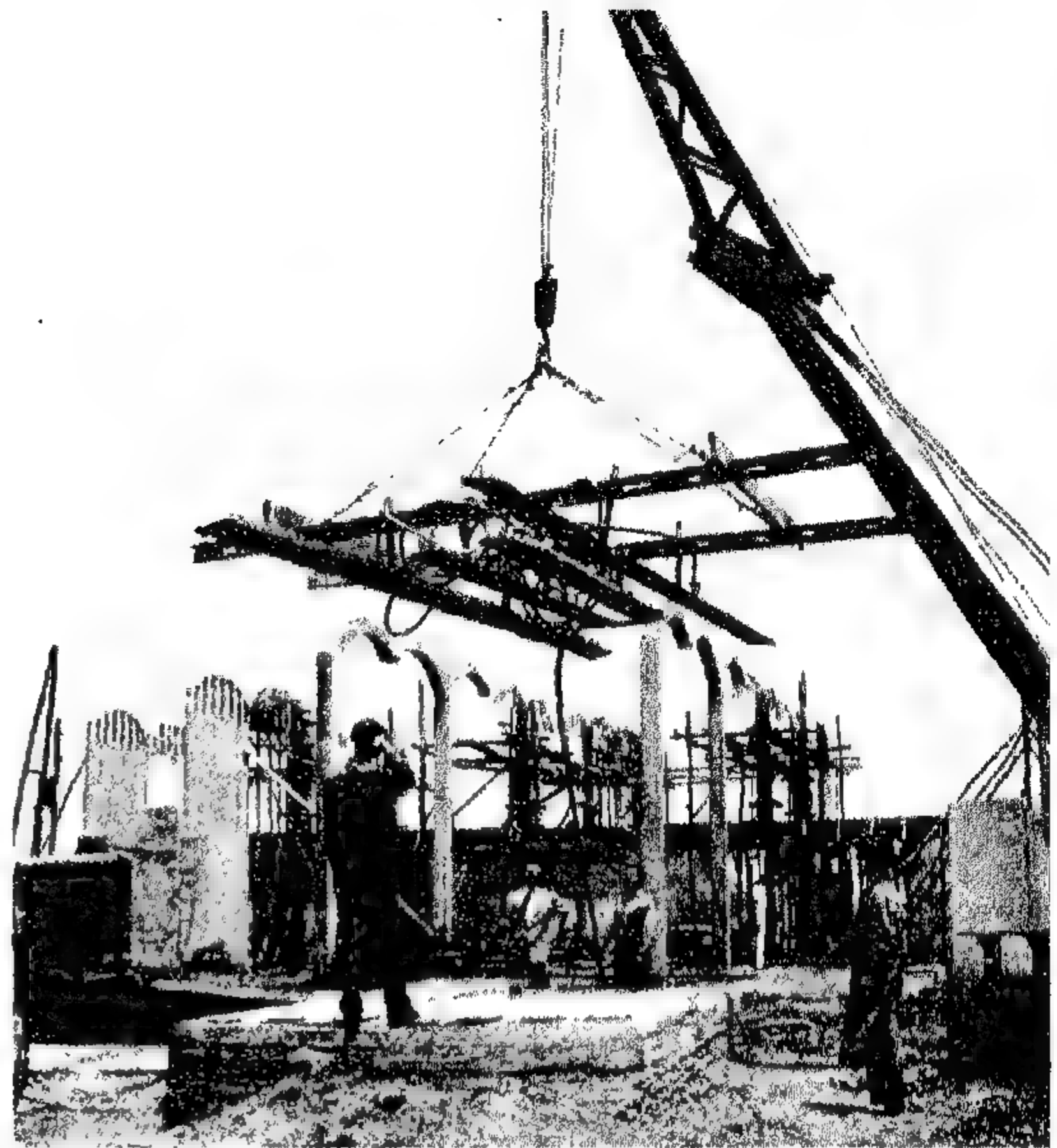
سبق التجهيز - رفع الصدفات القشرية

قبوات المهندسين سولانو وأورتيجا
(شكل ١٣١) هياكل مزدوجة الكوابيل
لحمل قبوات صدقية في مصنع كلارك شيكل
في بوجوتا بكولومبيا .
(شكل ١٣٢) إمالة حوائط المصنع لوضعها
النهائي .
(شكل ١٣٣) رفع الصدفات لمكانها النهائي .
(شكل ١٣٤) صب وصلات الحوائط على
الموقع .

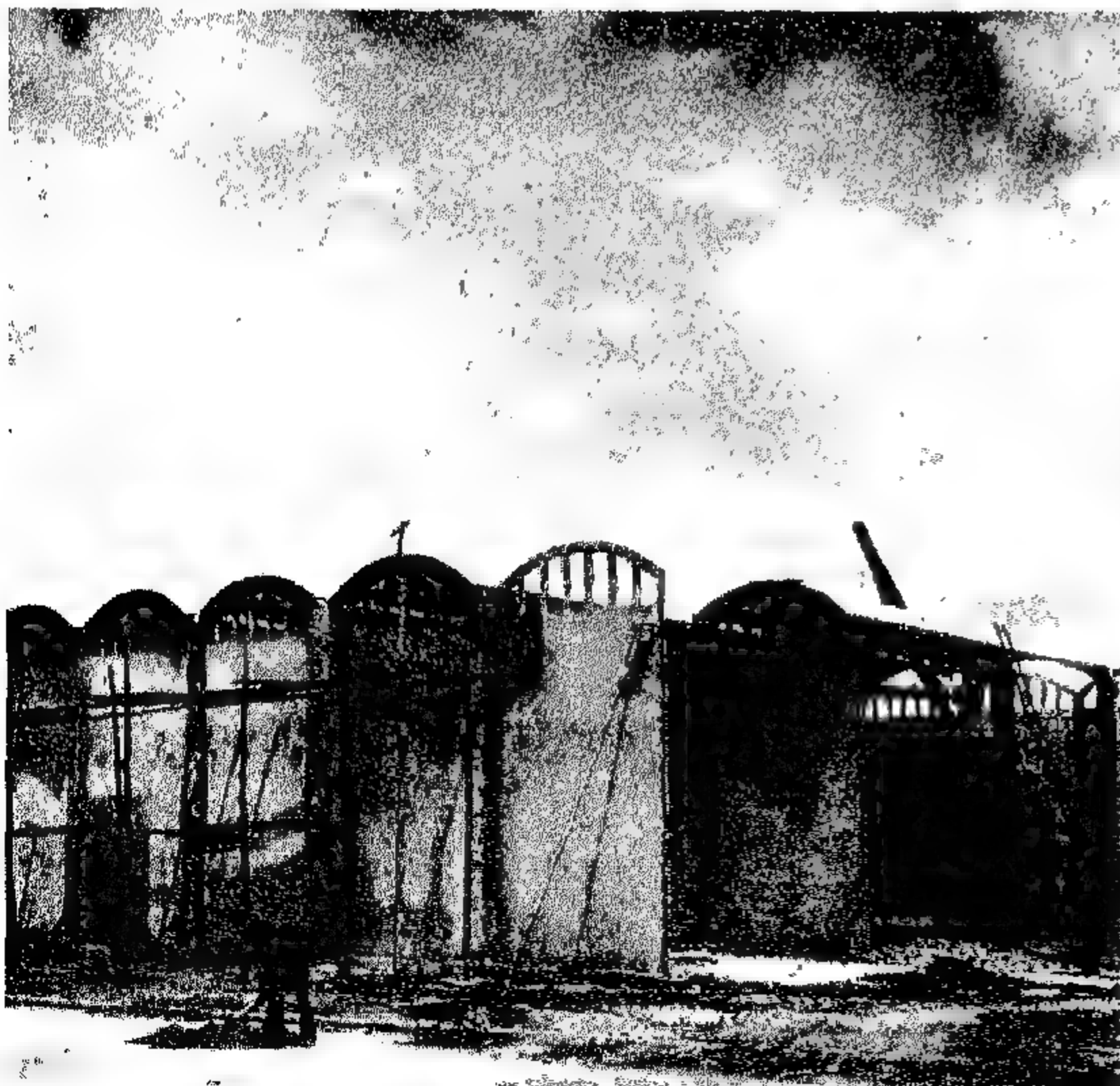
شکل ۱۳۲



شکل ۱۳۱

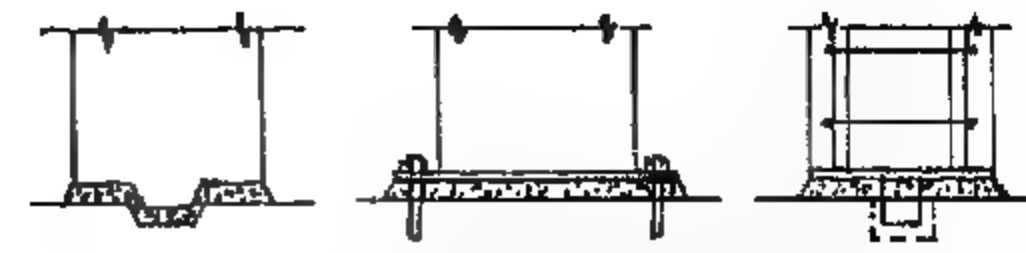


شکل ۱۳۴



شکل ۱۳۳





قاعدة خرسانية عادية

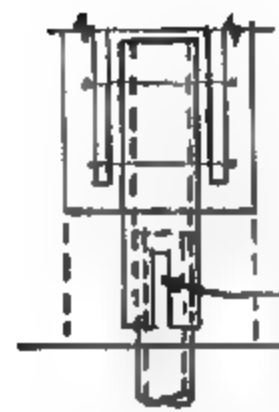
شكل ١٣٥



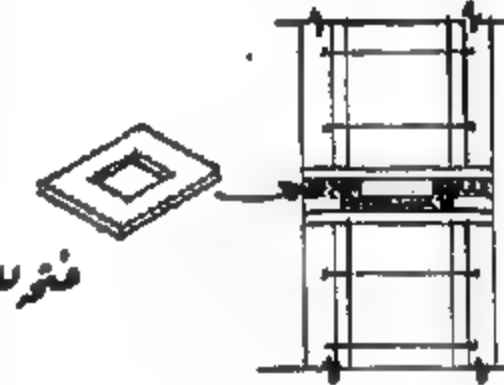
عمود مسلح



عمود مسلح

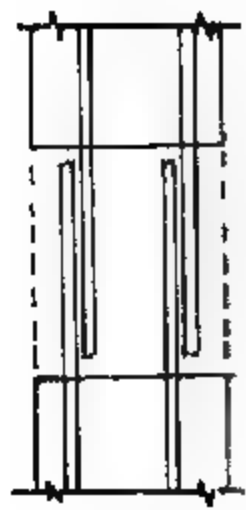


عمود مسلح



عمود مسلح

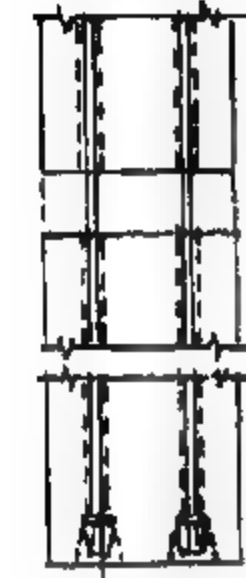
وصلة مفصلة



عمود مسلح



عمود مسلح

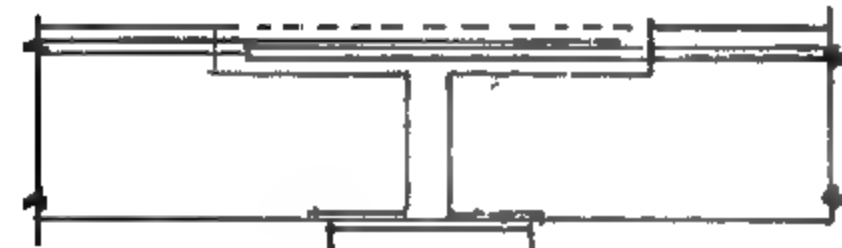


عمود مسلح

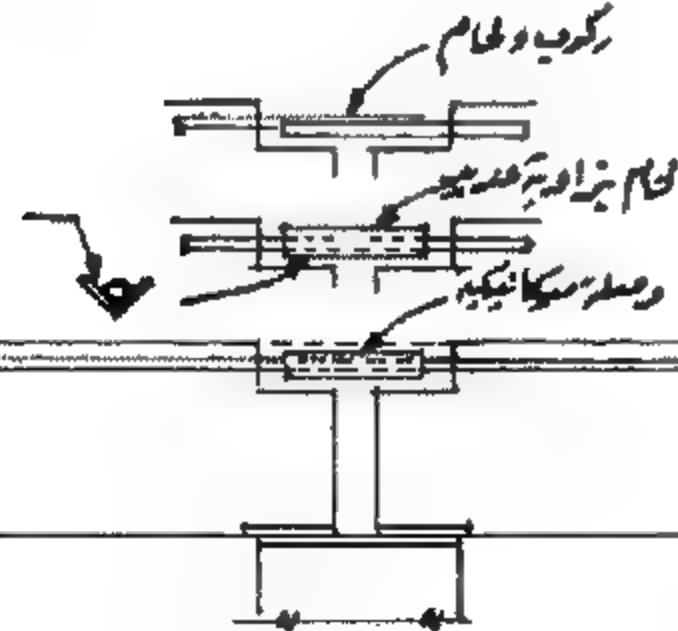


عمود مسلح

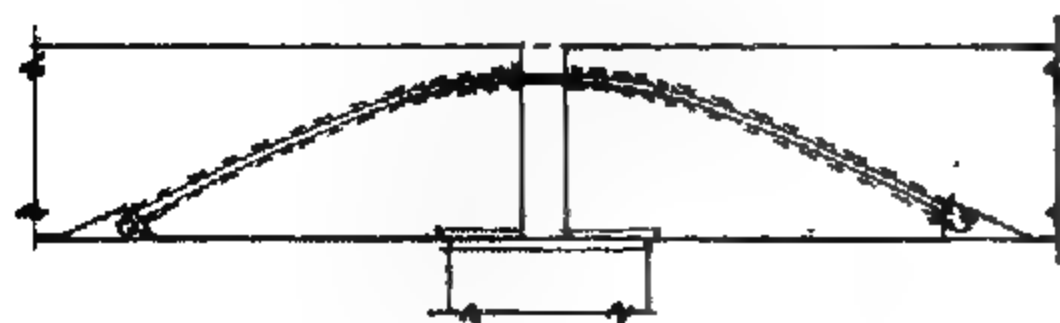
وصلة مفصلة



عمود مسلح

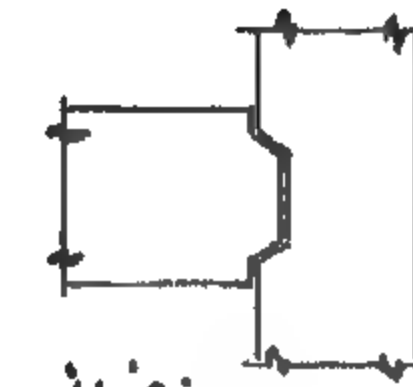


عمود مسلح

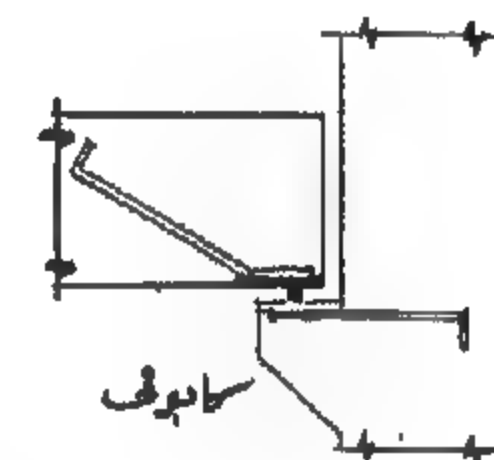


عمود مسلح

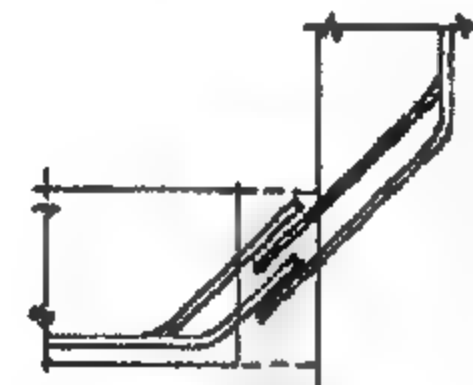
وصلة مفصلة



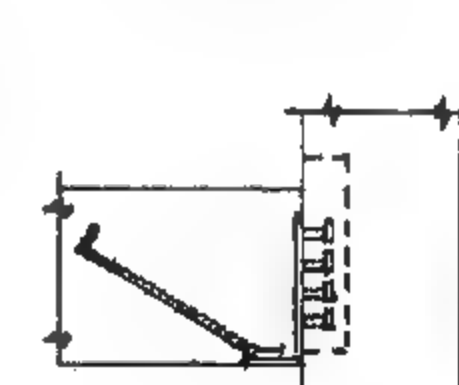
عمود مسلح



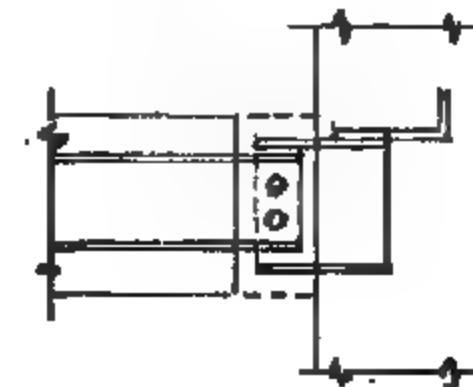
عمود مسلح



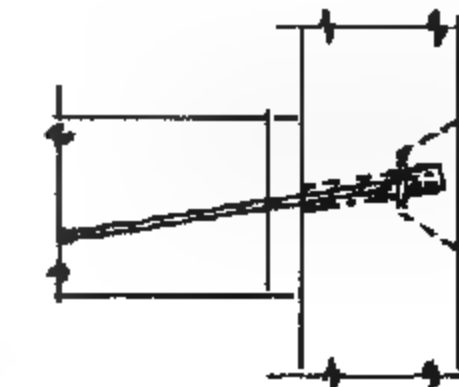
عمود مسلح



عمود مسلح



عمود مسلح



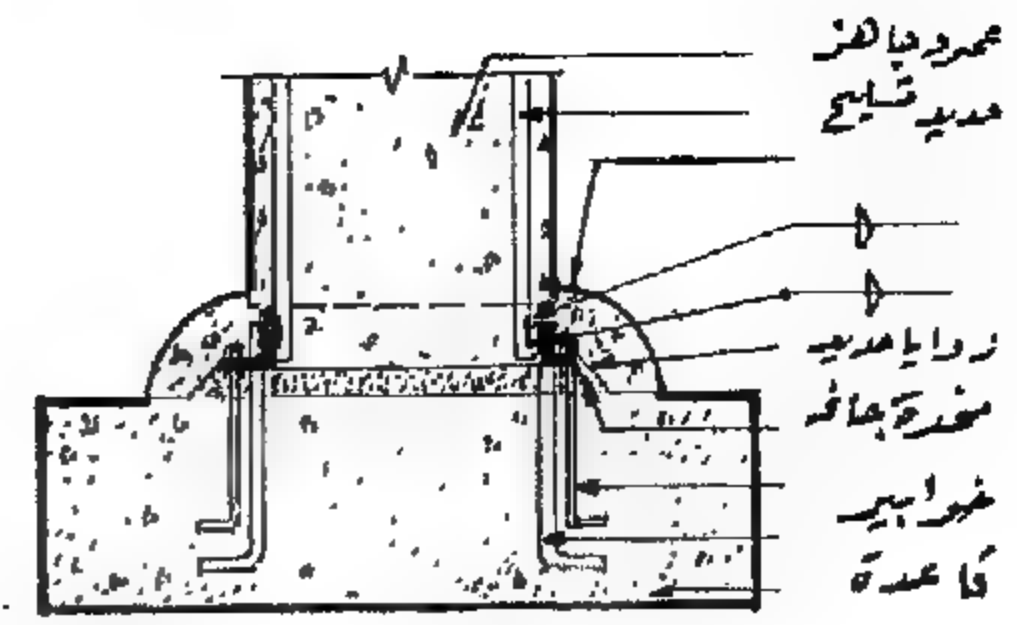
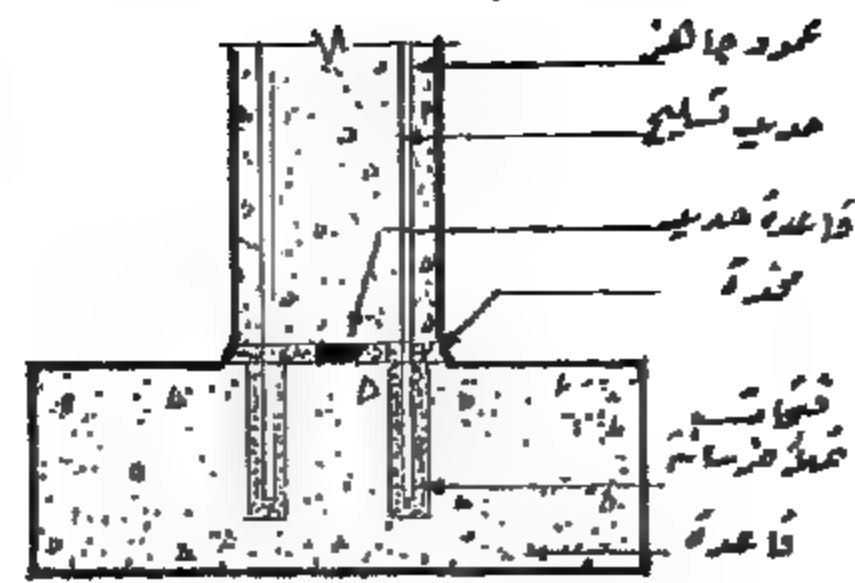
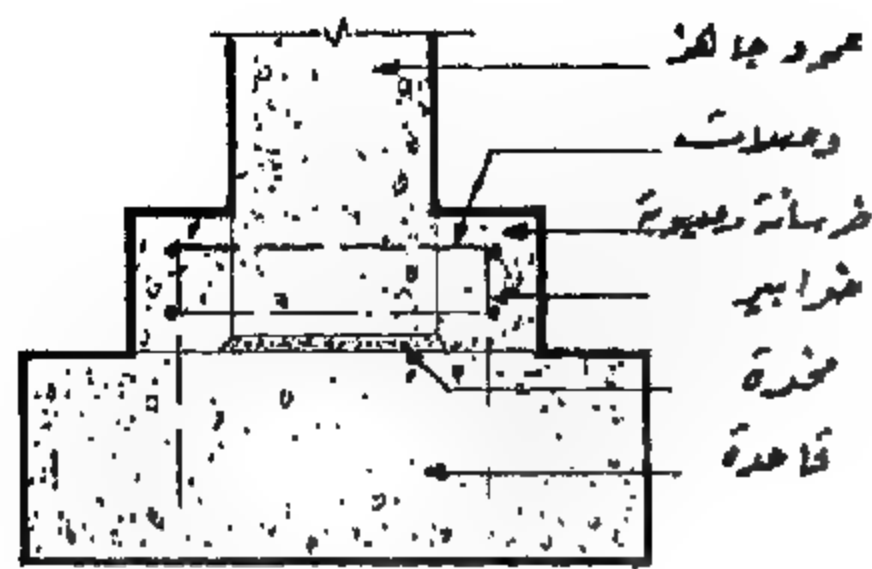
عمود مسلح

وصلة مفصلة

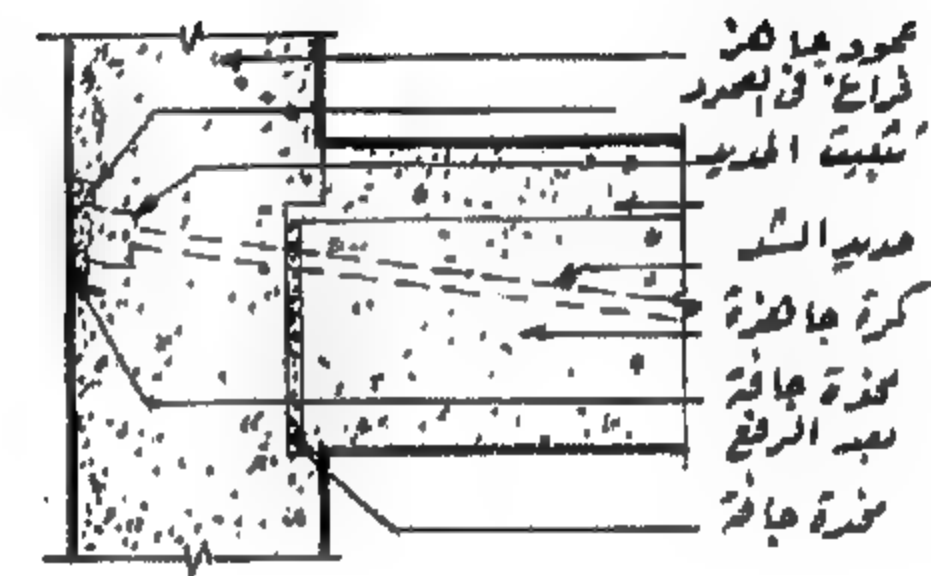
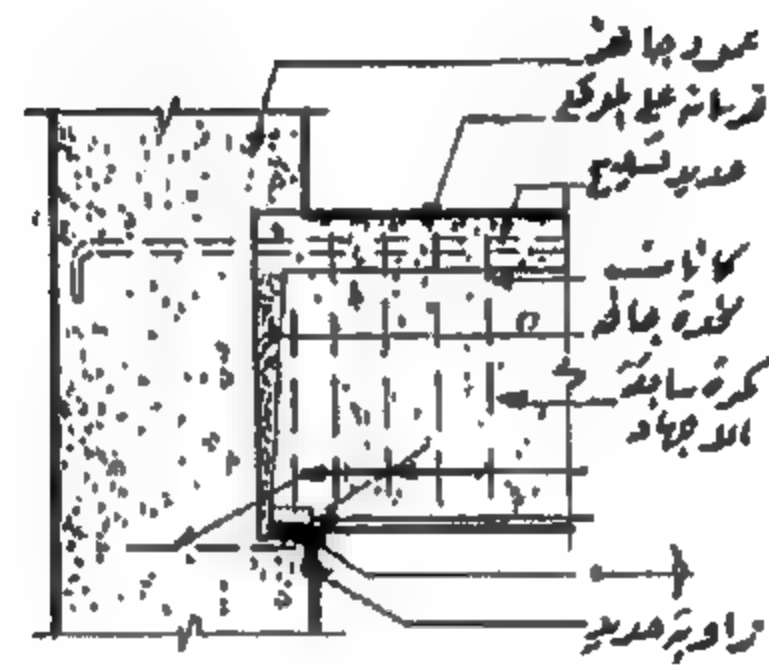
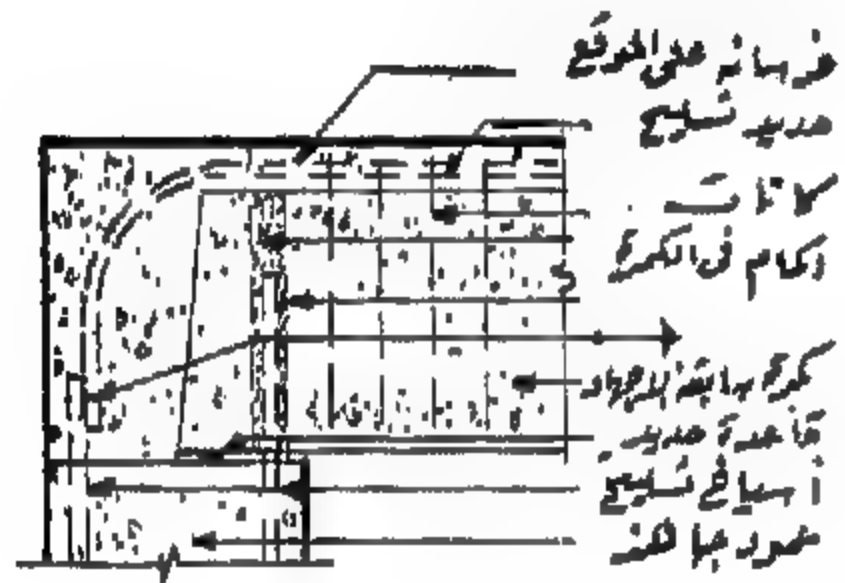
شكل ١٣٧

١٨٦

شكل ١٣٩



شكل ١٤٠

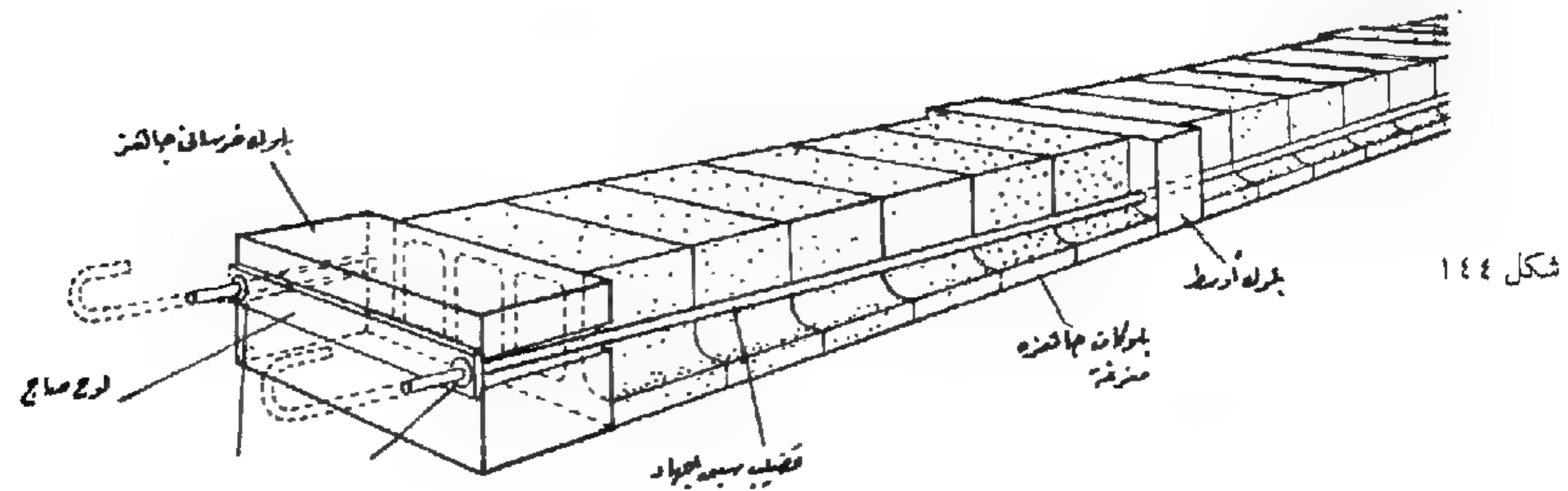
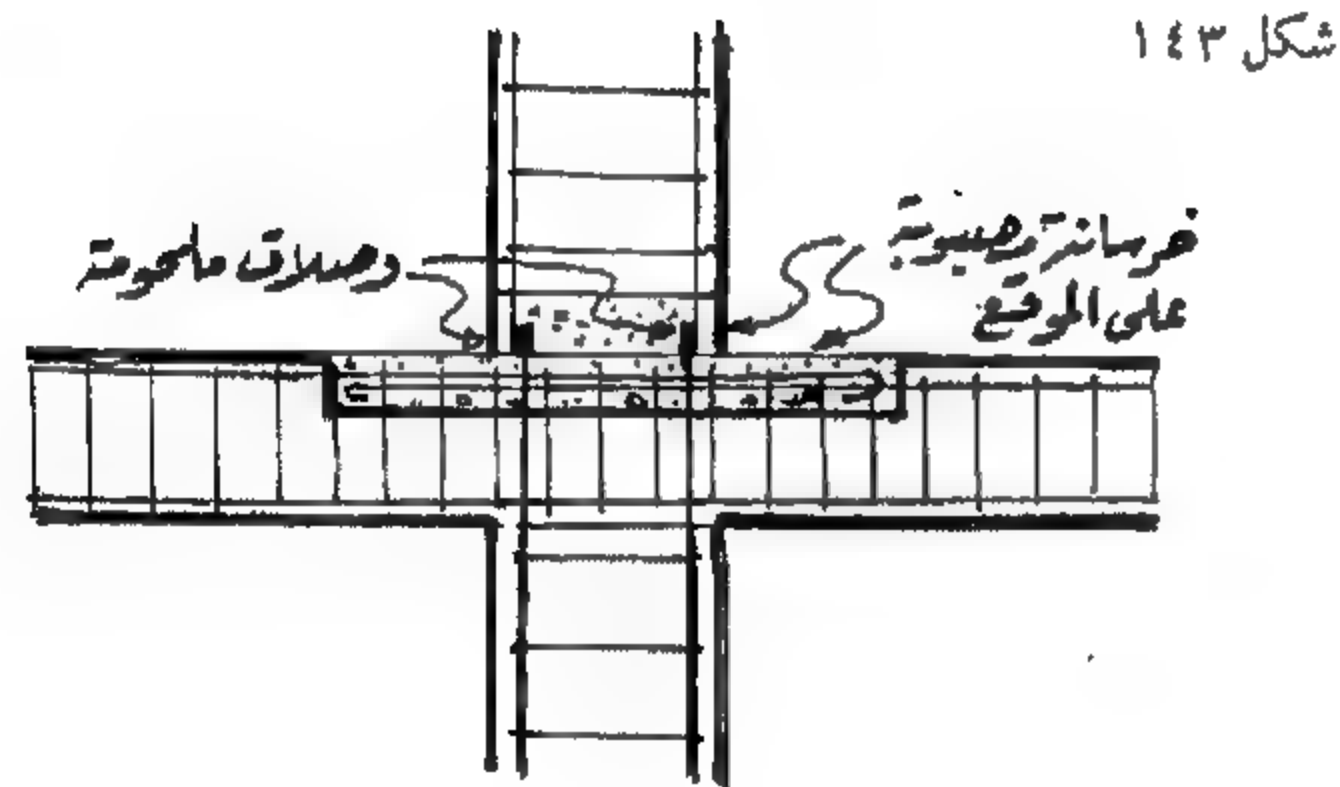
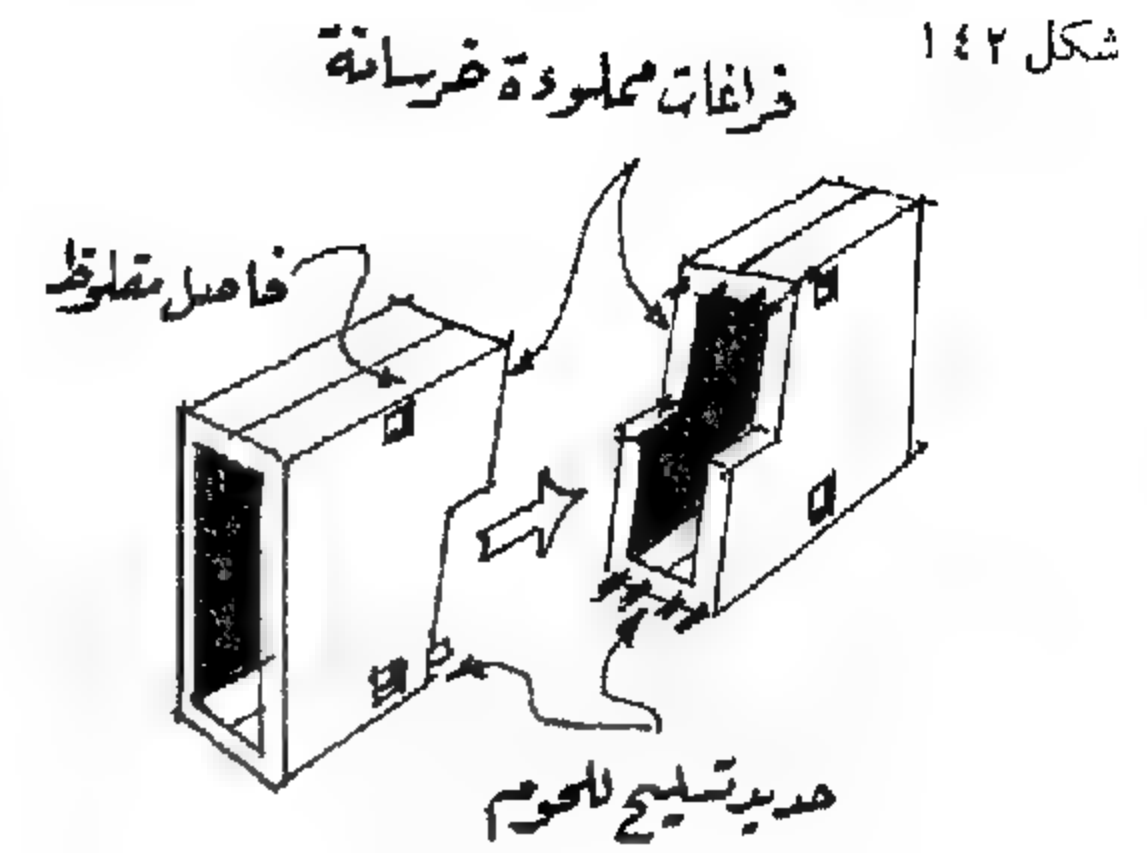
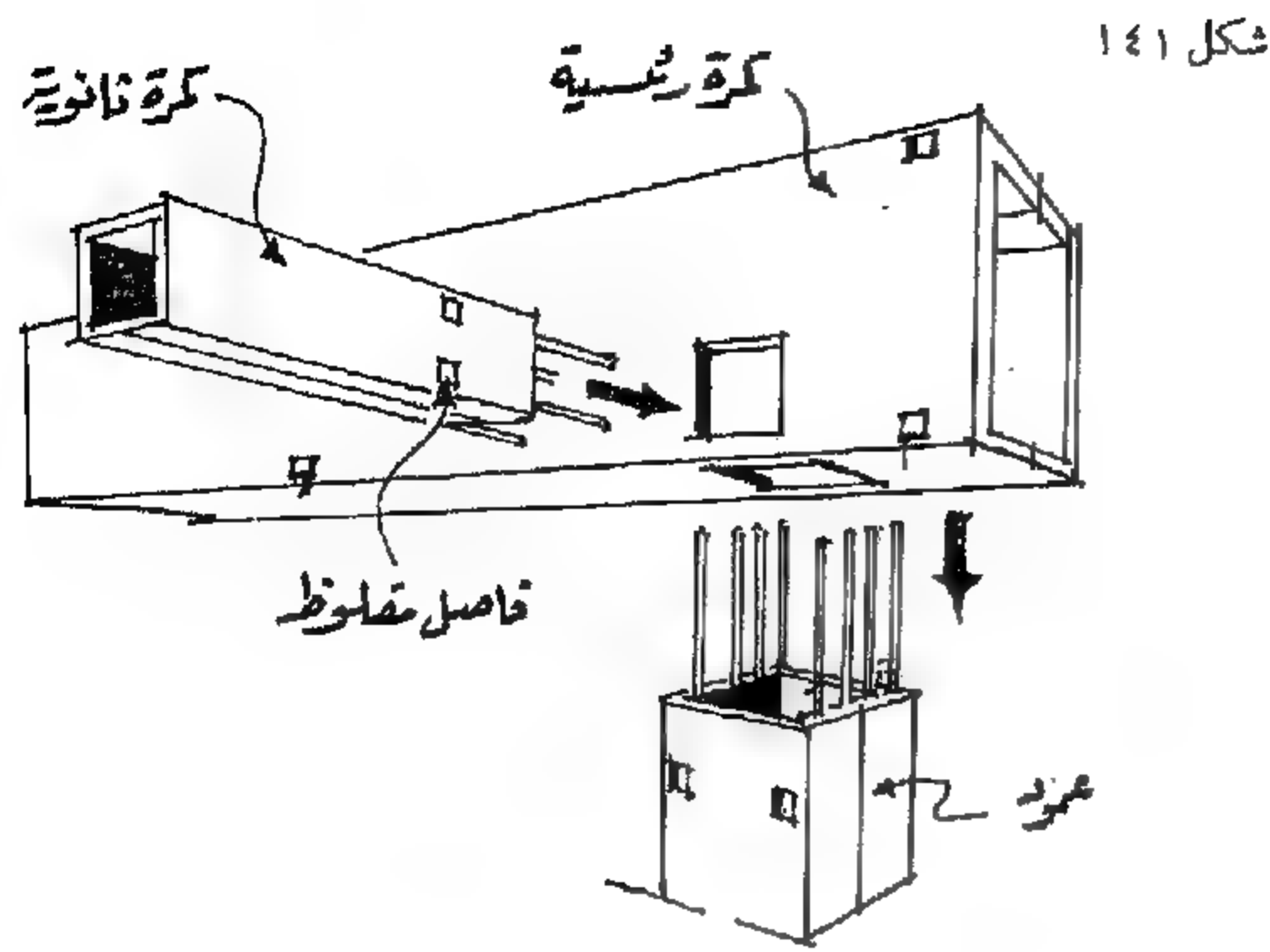


سبق التجهيز - الوصلات

- (شكل ١٣٩) احتمالات مختلفة لوصلة عمود بالأساس .
- (شكل ١٤٠) احتمالات مختلفة لتحميل كمر على عمود .

سبق التجهيز - الوصلات

- (شكل ١٣٥) وصلة معرضة لإجهادات انضغاط .
- (شكل ١٣٦) وصلة معرضة لإجهادات شد .
- (شكل ١٣٧) وصلة معرضة لمزوم قص .
- (شكل ١٣٨) وصلة معرضة لمزوم انحناء .



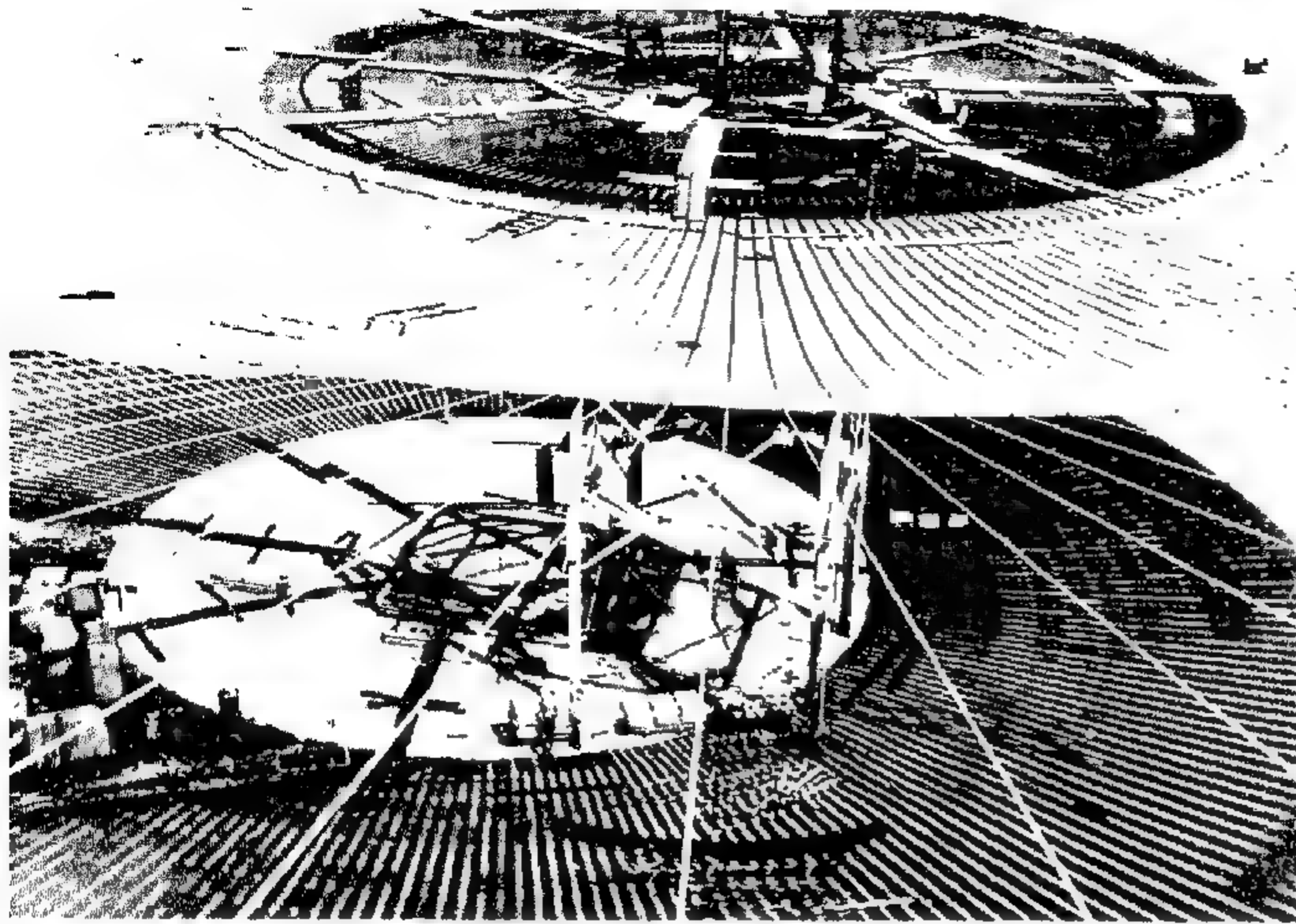
سبق التجهيز - الوصلات

(شكل ١٤١) أعمدة وكرات مجوفة في مخزن البحرية بمدينة ميكانيكسبرج ببنسلفانيا.

(شكل ١٤٢) وحدات جاهزة بوصلات مصبوبة على الموقع في نقط أقل إجهادات بكرات مخزن البحرية السابق.

(شكل ١٤٣) الوصلة في محطة نهائية للأوتوبيسات بكندا - بروز التسليح من كل وحدة إلى الأخرى وصبب الوصلة مع لحام التسليح.

(شكل ١٤٤) كرة من بلوكات جاهزة باستعمال الإجهاد اللاحق - المهندس الإنشائي ل. كوف .



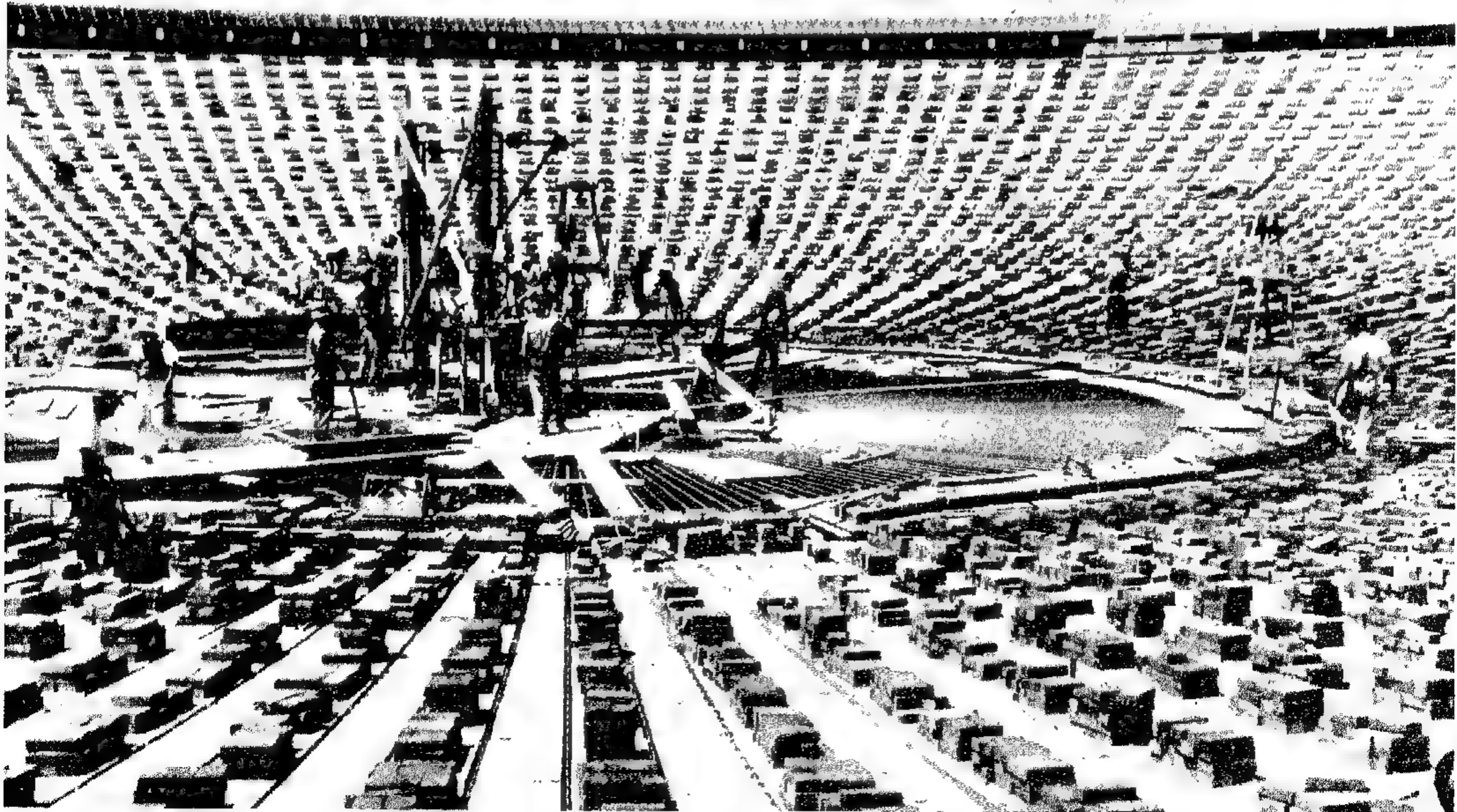
شكل ١٤٥

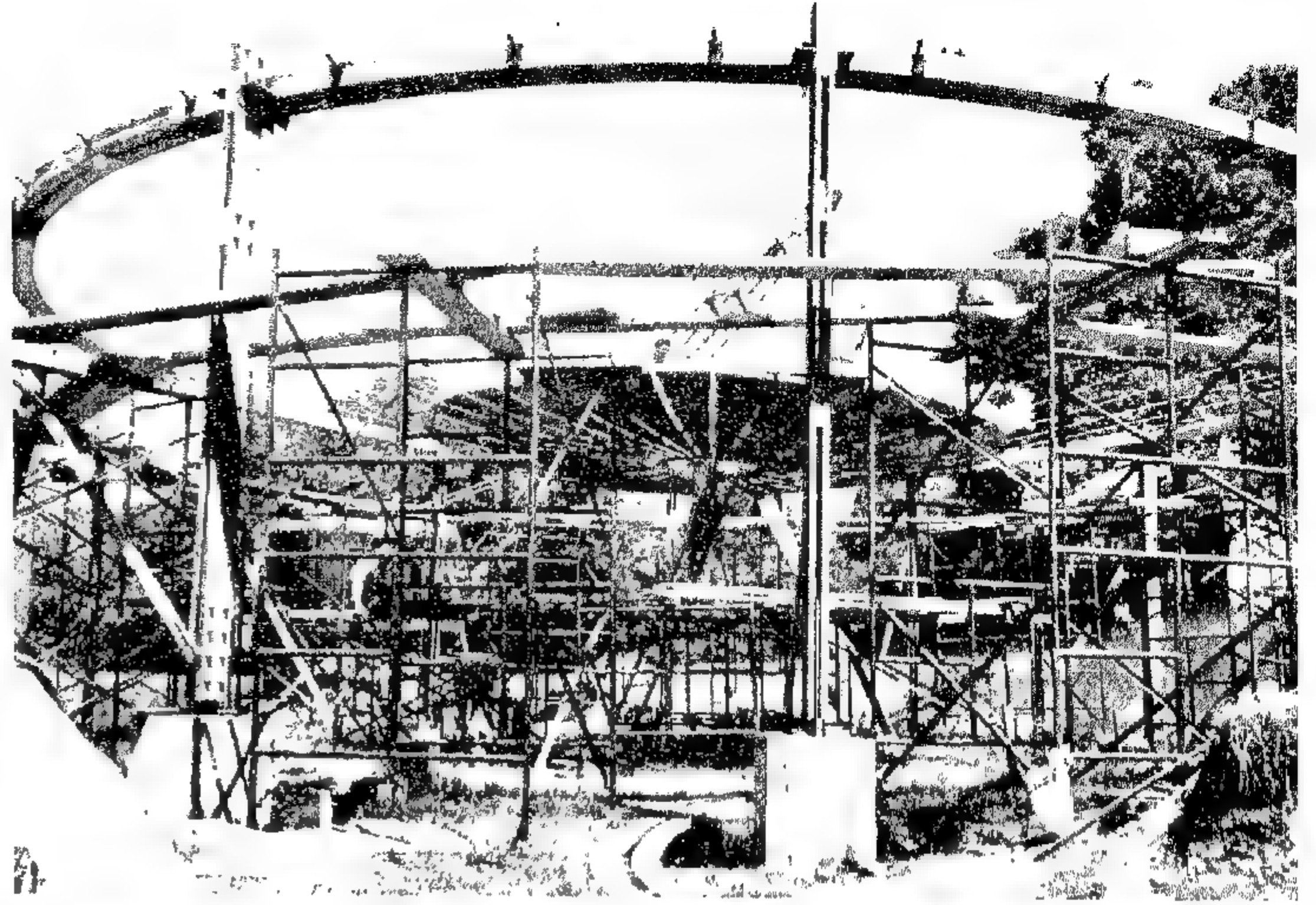
سبق التجهيز - وصلات بالإجهاد
اللاحق

(شكل ١٤٥) إستاذ للمعرض الصناعي في
مونتفيدو بأرجواي .

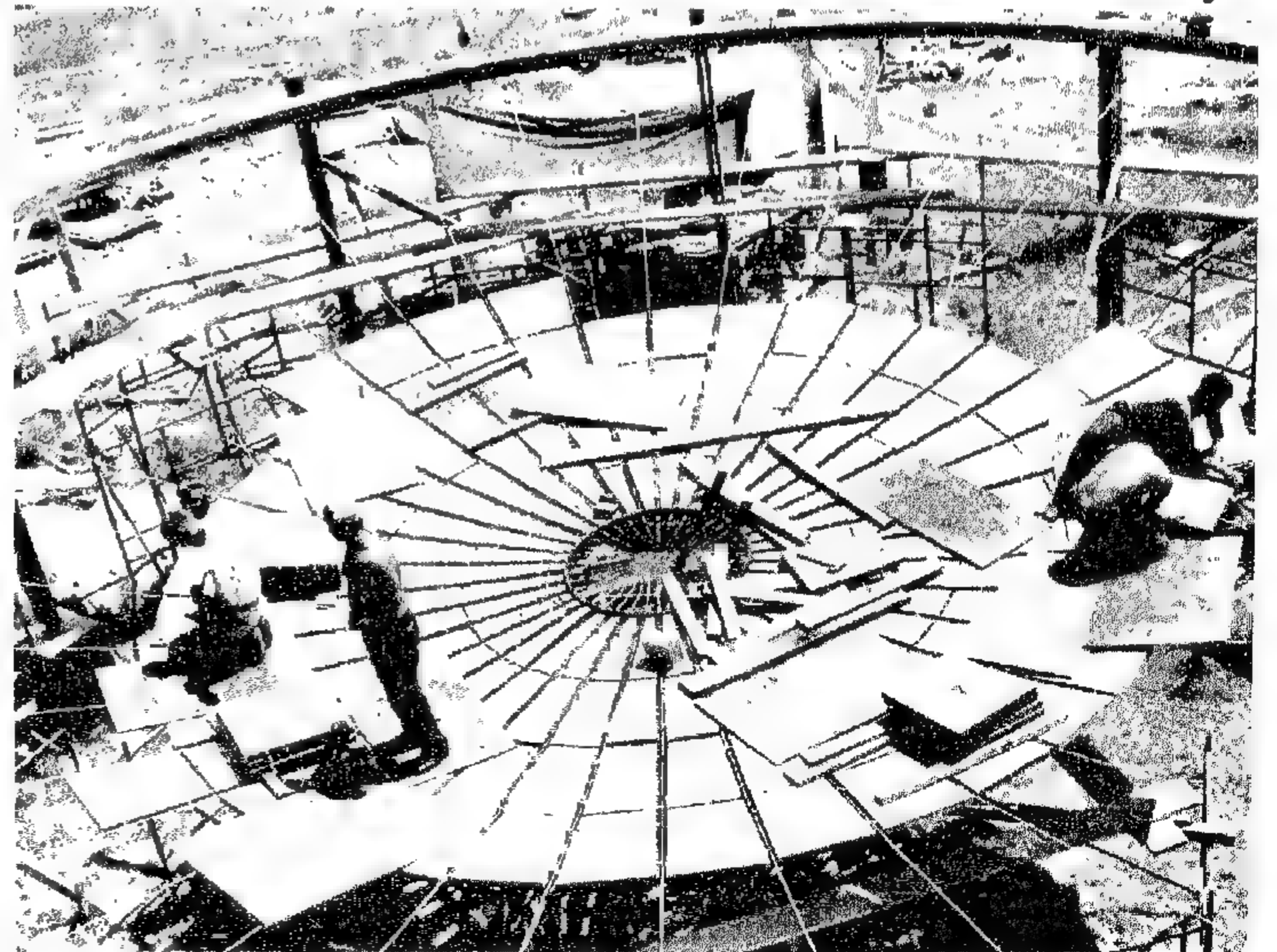
(شكل ١٤٦) الإجهاد اللاحق بحمل إضافي
يعادل ٥٠٪ من الطوب .

شكل ١٤٦





شكل ١٤٨



الجمع بين سبق التجهيز والصب على الموقع

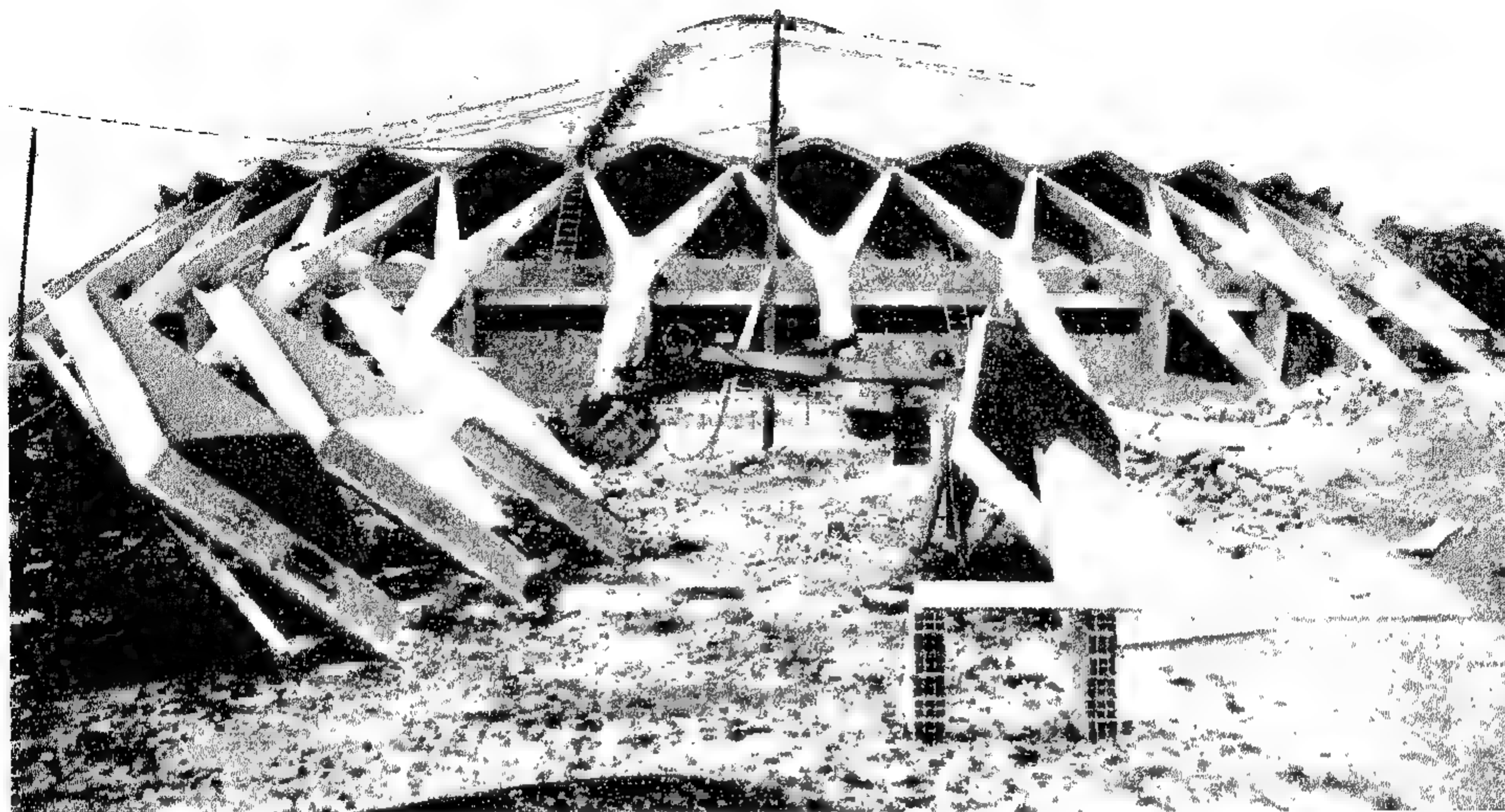
(شكل ١٤٩) بلوكات خرسانية جاهزة مدقونة في خرسانة مصبوبة على موقع السقف الكروى لقصر الرياضة الصغير بروما - المهندس بيير لويجي نيرفى .

(شكل ١٥٠) مبنى معرض تورينو - تفصيلة للبلاطات الجاهزة المستعملة كصلبات دائمة للخرسانة المصبوبة على الموقع للكمرات والبلاطات. (شكل ١٥١) مطعم الكورسال فى أوستيا بجوار روما سنة ١٩٥٠ - باذوهات جاهزة كصلبات دائمة .

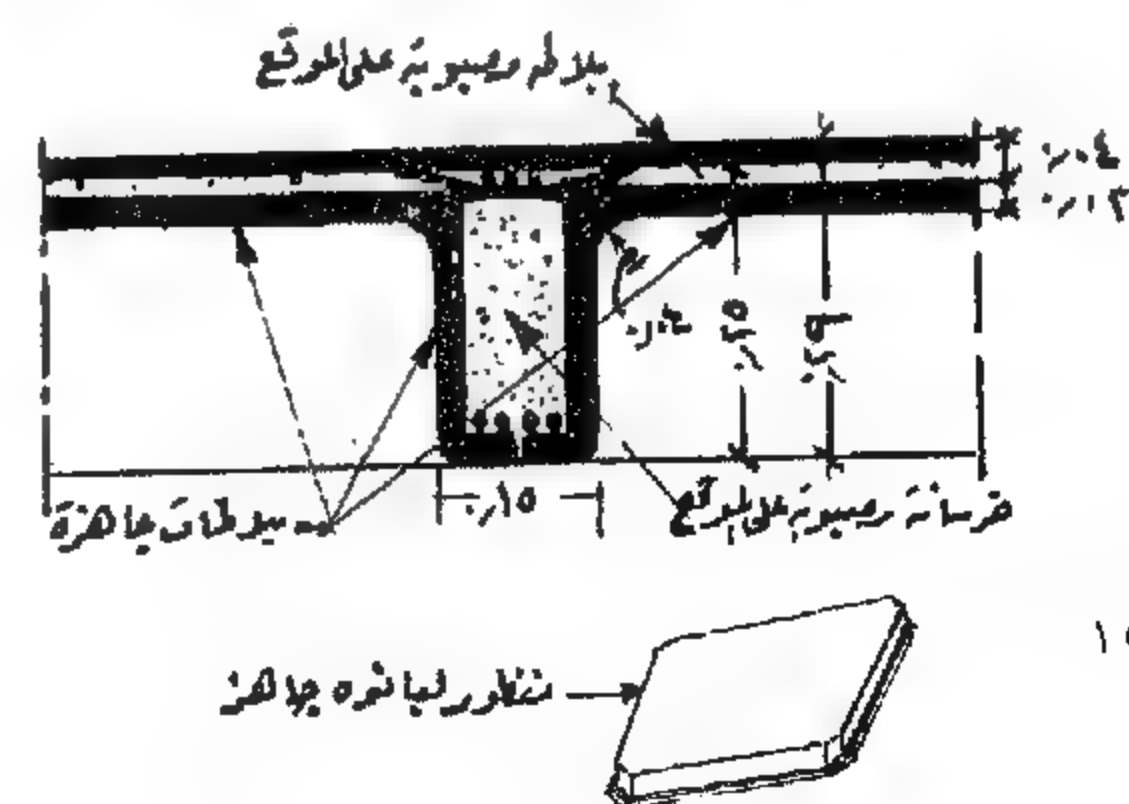
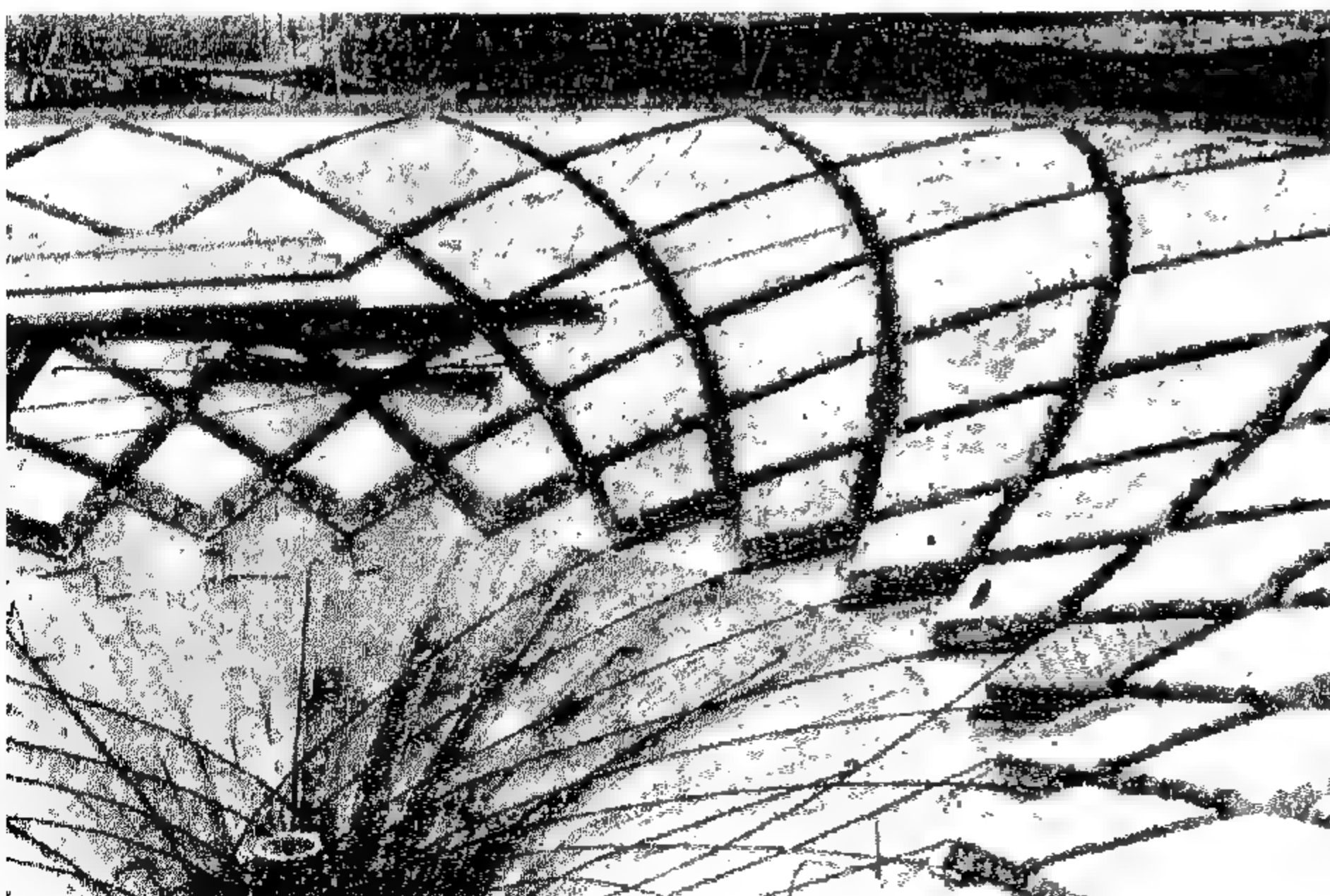
سبق التجهيز - وصلات بالإجهاد اللاحق

(شكل ١٤٧) مبنى بمسكر كولومبيا بمدينة ليتشفيلد بولاية كنتكت بقطر ٥٠ قدماً - وضع البلاطات الخرسانية .

(شكل ١٤٨) منظور علوى يبين الحلقتين الداخلية والخارجية والكابلات المعلقة .

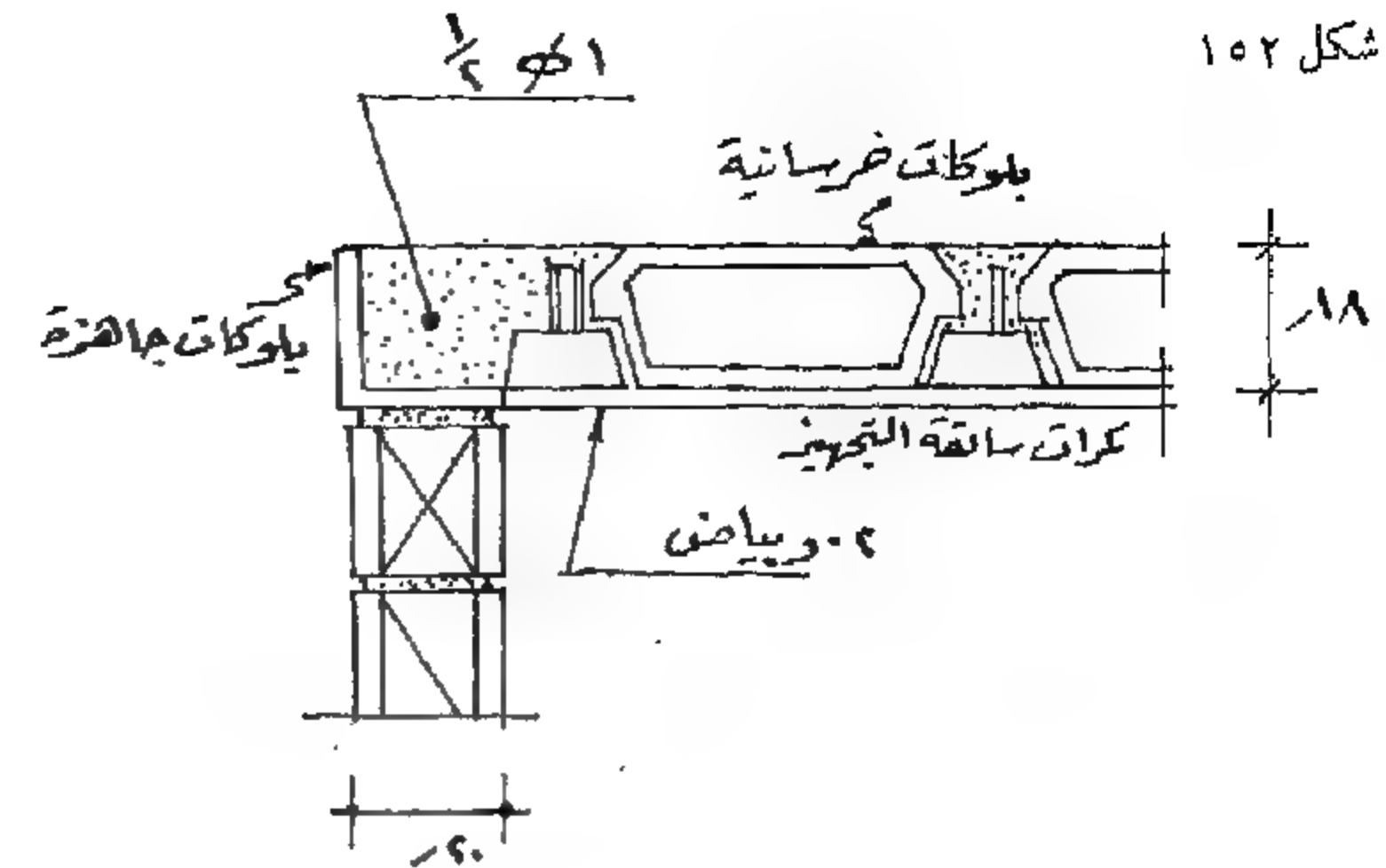


شكل ١٥١



شكل ١٥٠

شكل ١٥٢



الجمع بين سبق التجهيز والصب على الموقع

(شكل ١٥٢) الإنشاء بكرات جاهزة وبلوكات خرسانية في المجموعات السكنية

بمديرية التحرير (شركة بنفينا) ١٩٦٦ .

(شكل ١٥٣) إنشاء مقترح لكرات مركبة وبلاطات .

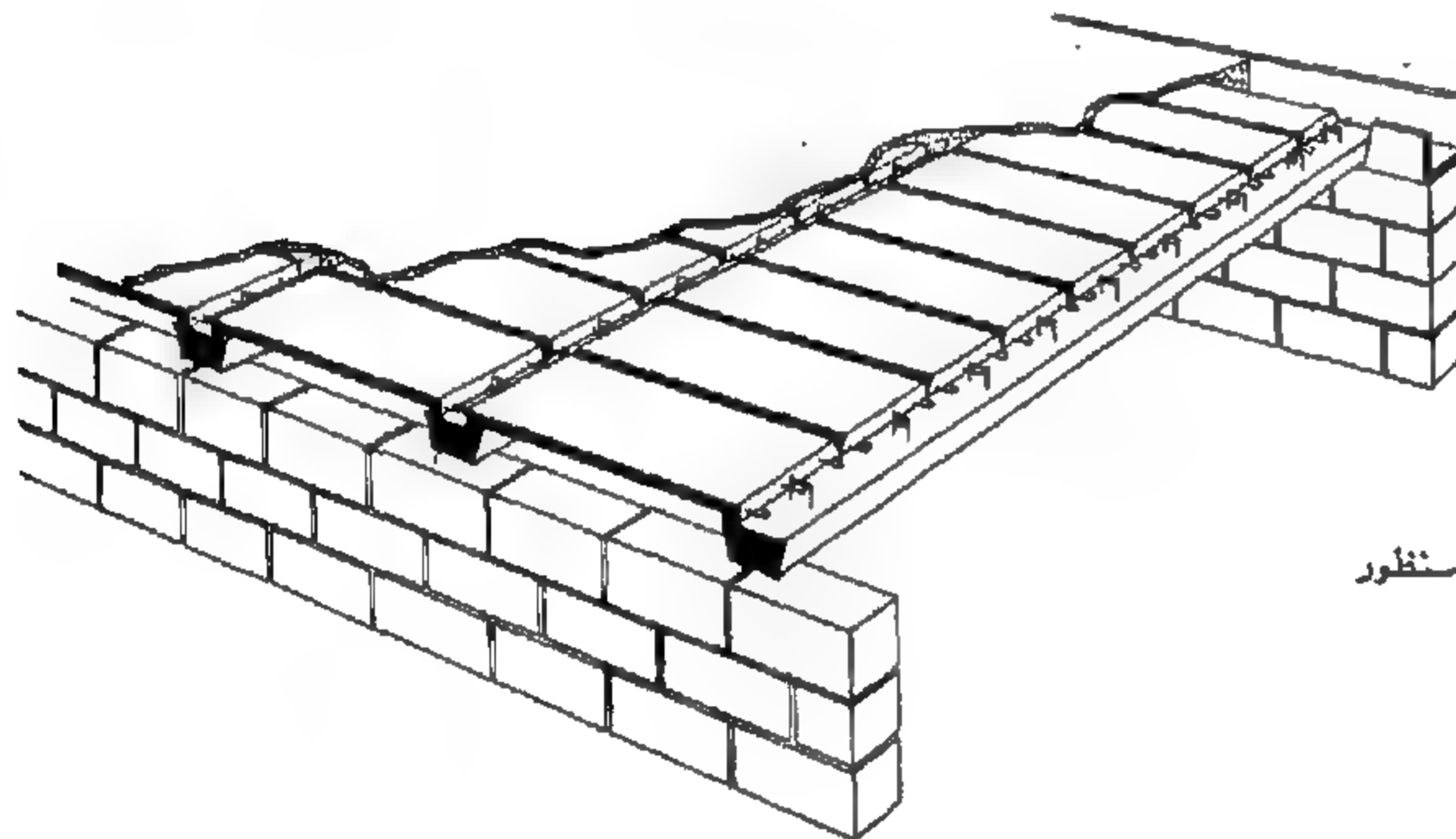
(شكل ١٥٤) إنشاء مقترح لكرات مجمعة على الموقع من بلوكات فخارية أو

خرسانية .

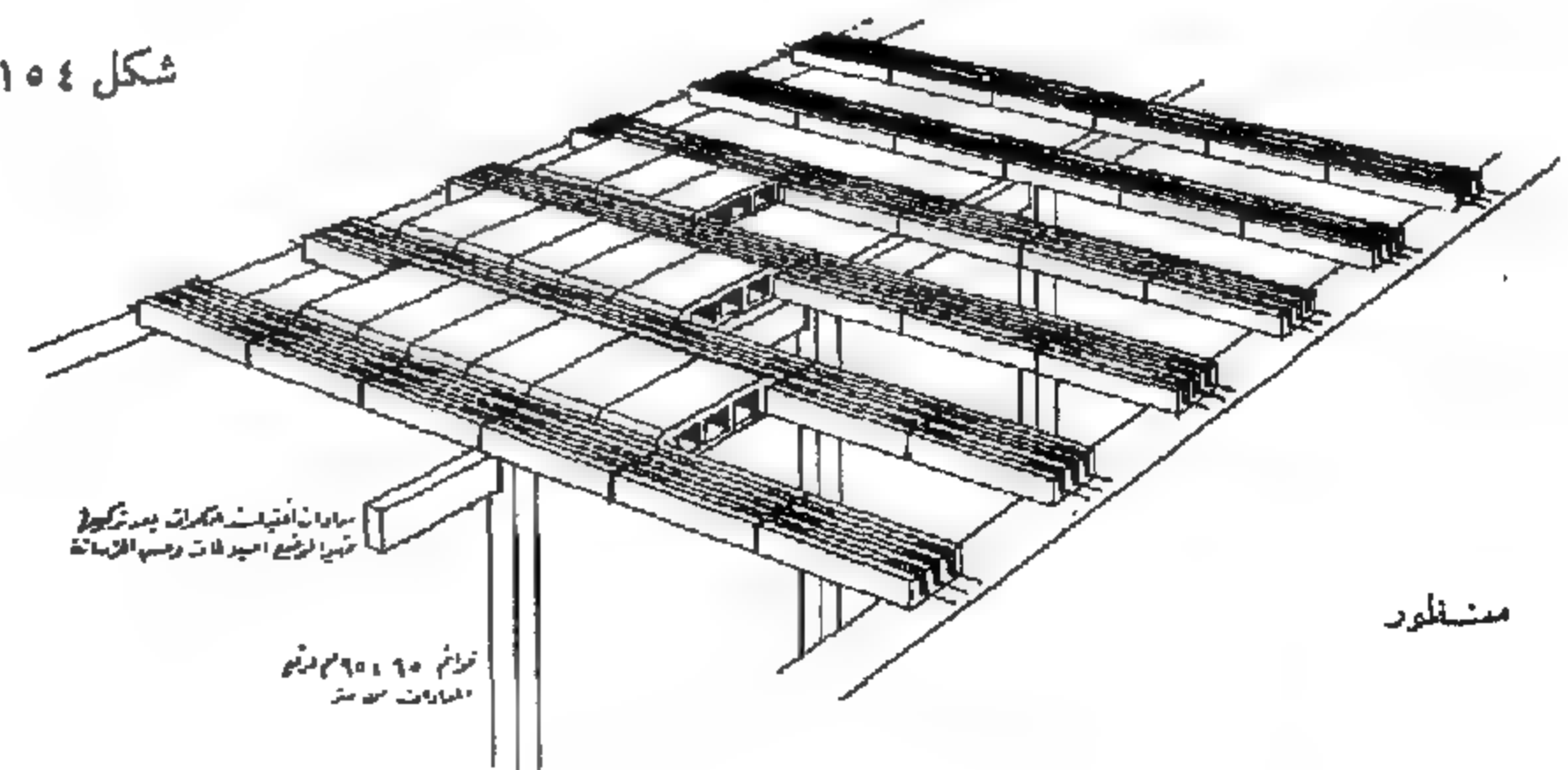
شكل ١٥٣



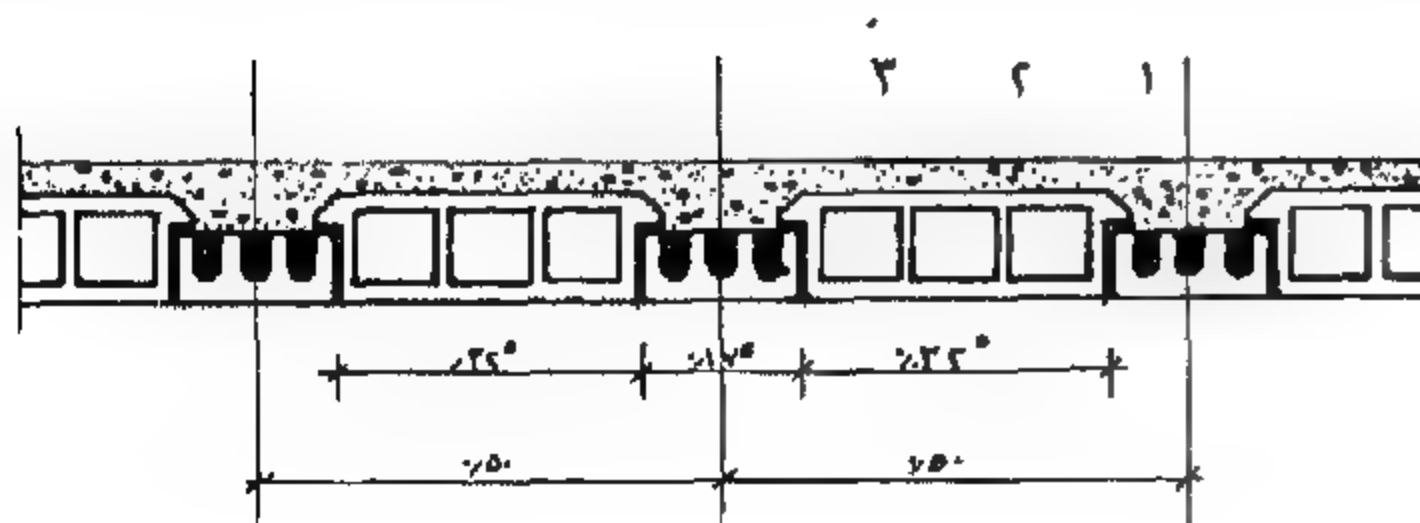
منظور



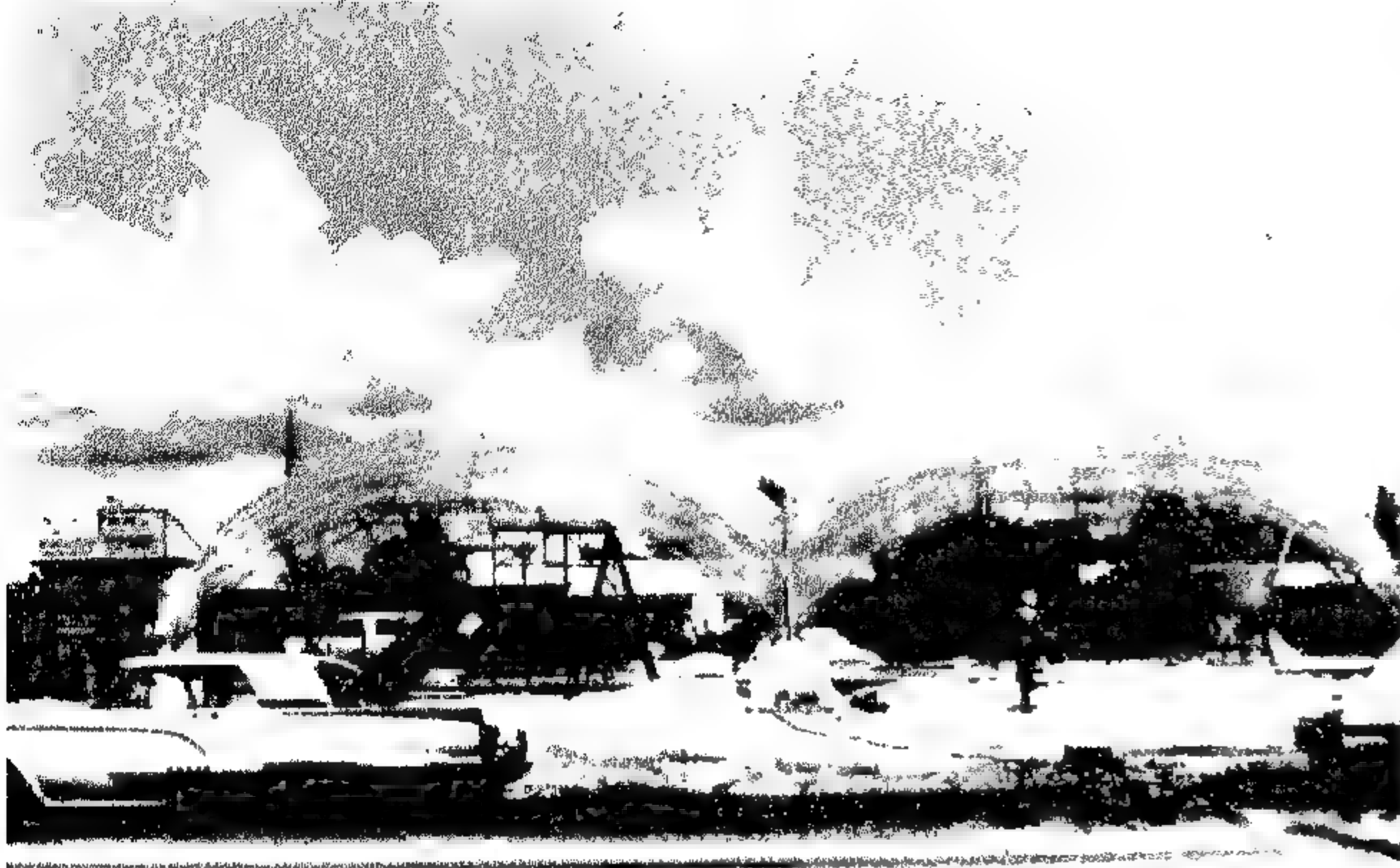
شكل ١٥٤



منظور



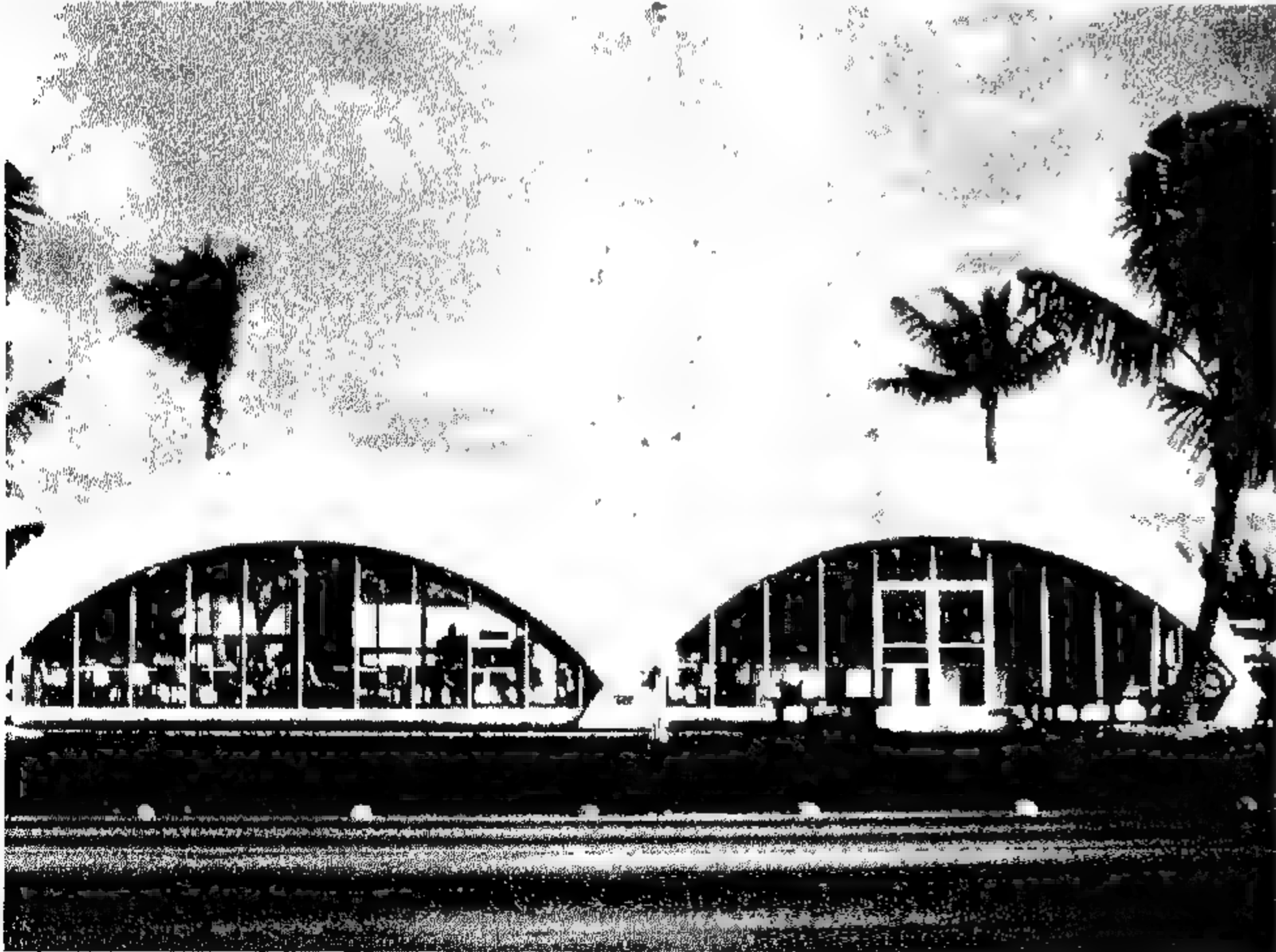
شكل ١٥٦



شكل ١٥٥



شكل ١٥٨



شكل ١٥٧



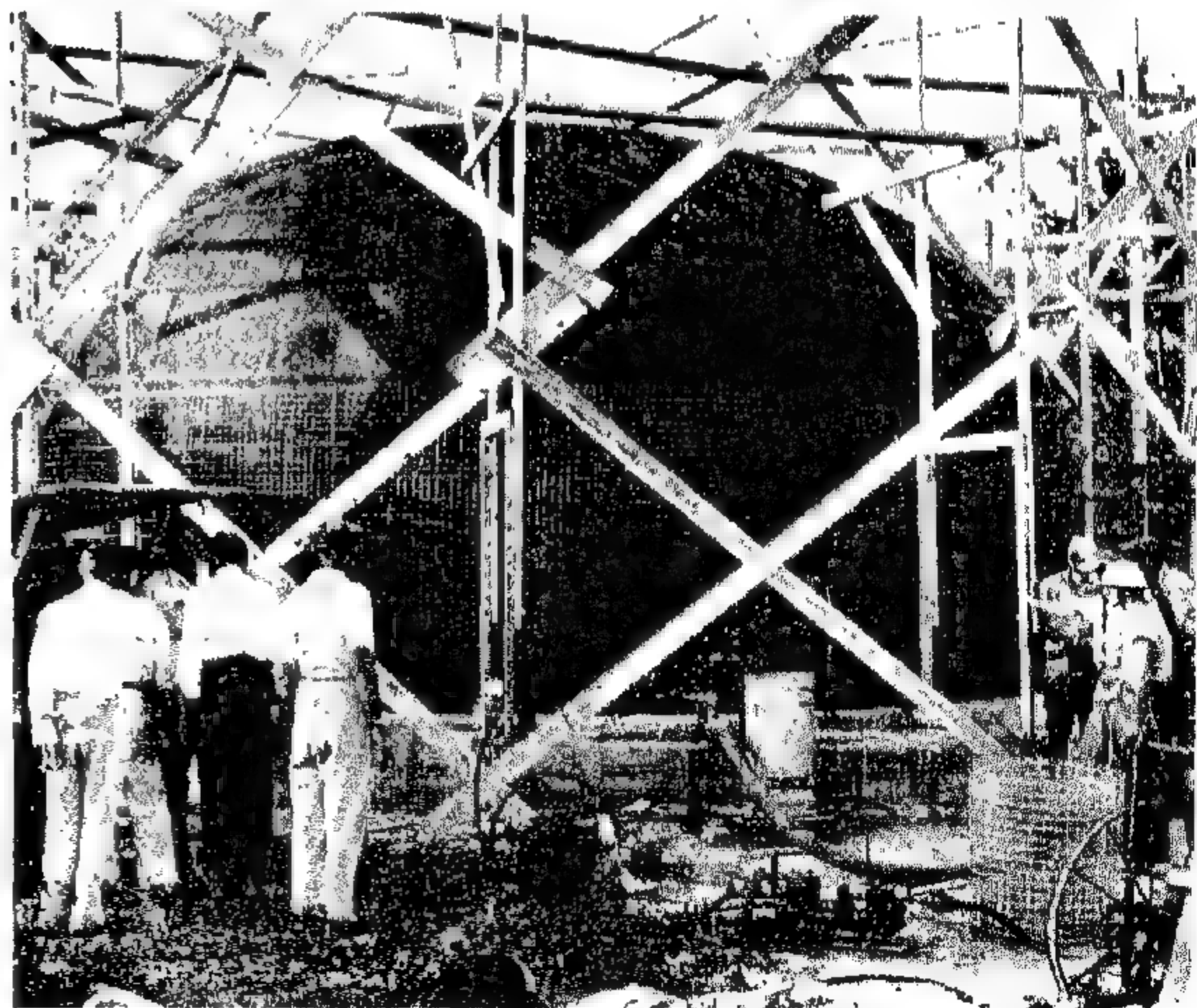
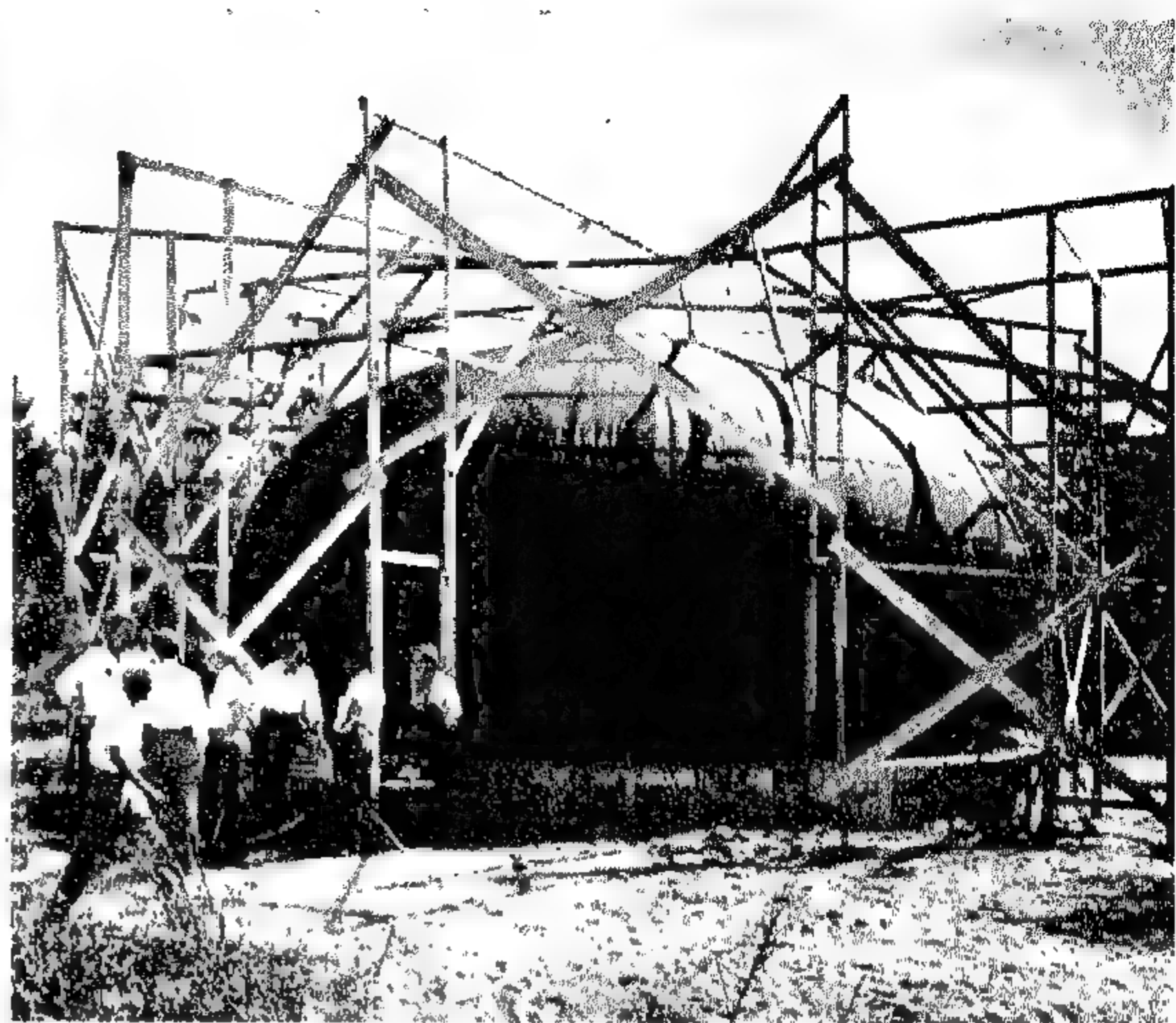
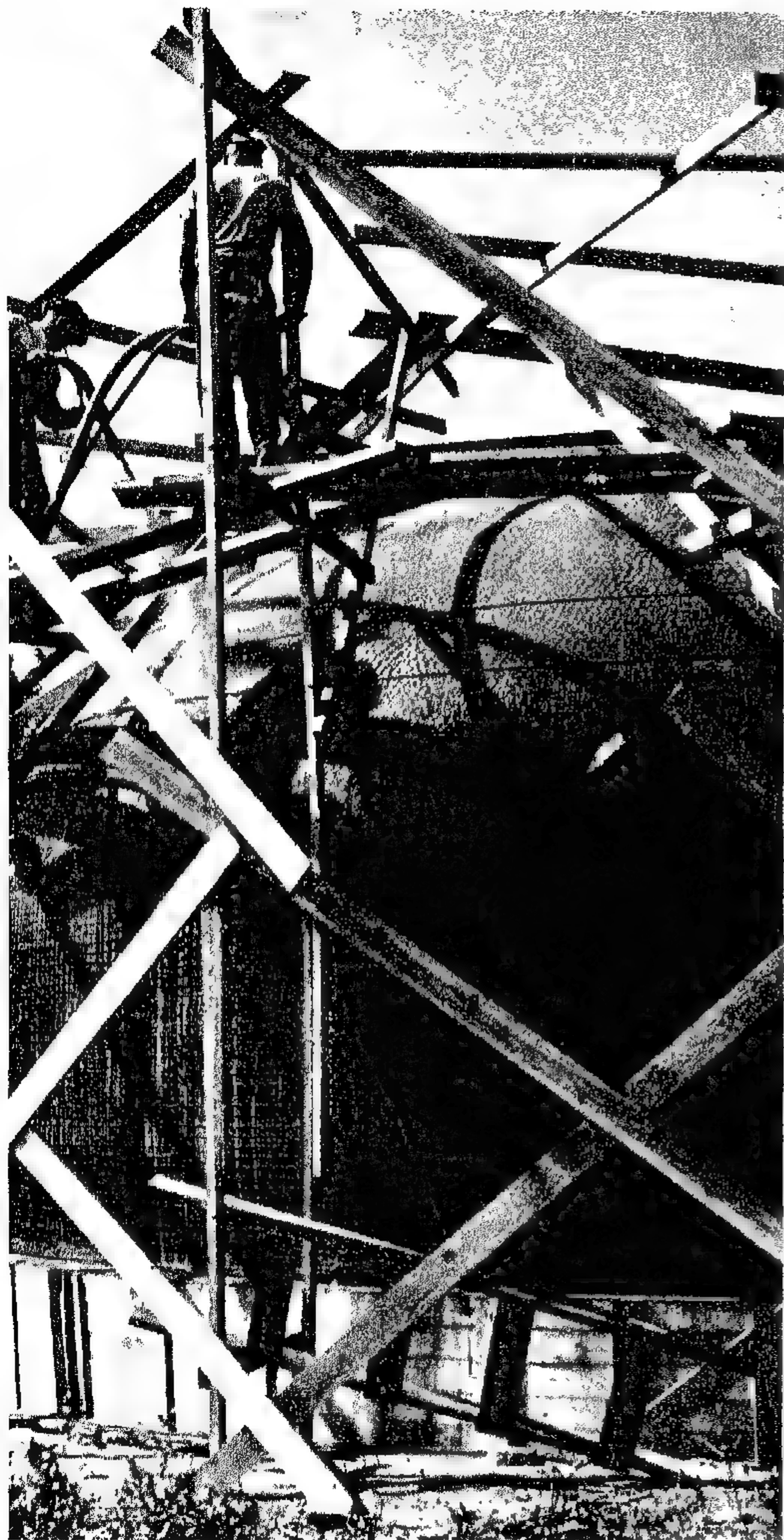
حديد التسليح كجسليات دائمة

(أشكال ١٥٥ - ١٥٨) مراحل طريقة

إنشاء الصدقات القشرية حول التسليح

الدائم بالشبك الممدد في أحد مطاعم شركة

شفلس في أمريكا سنة ١٩٦٥ .



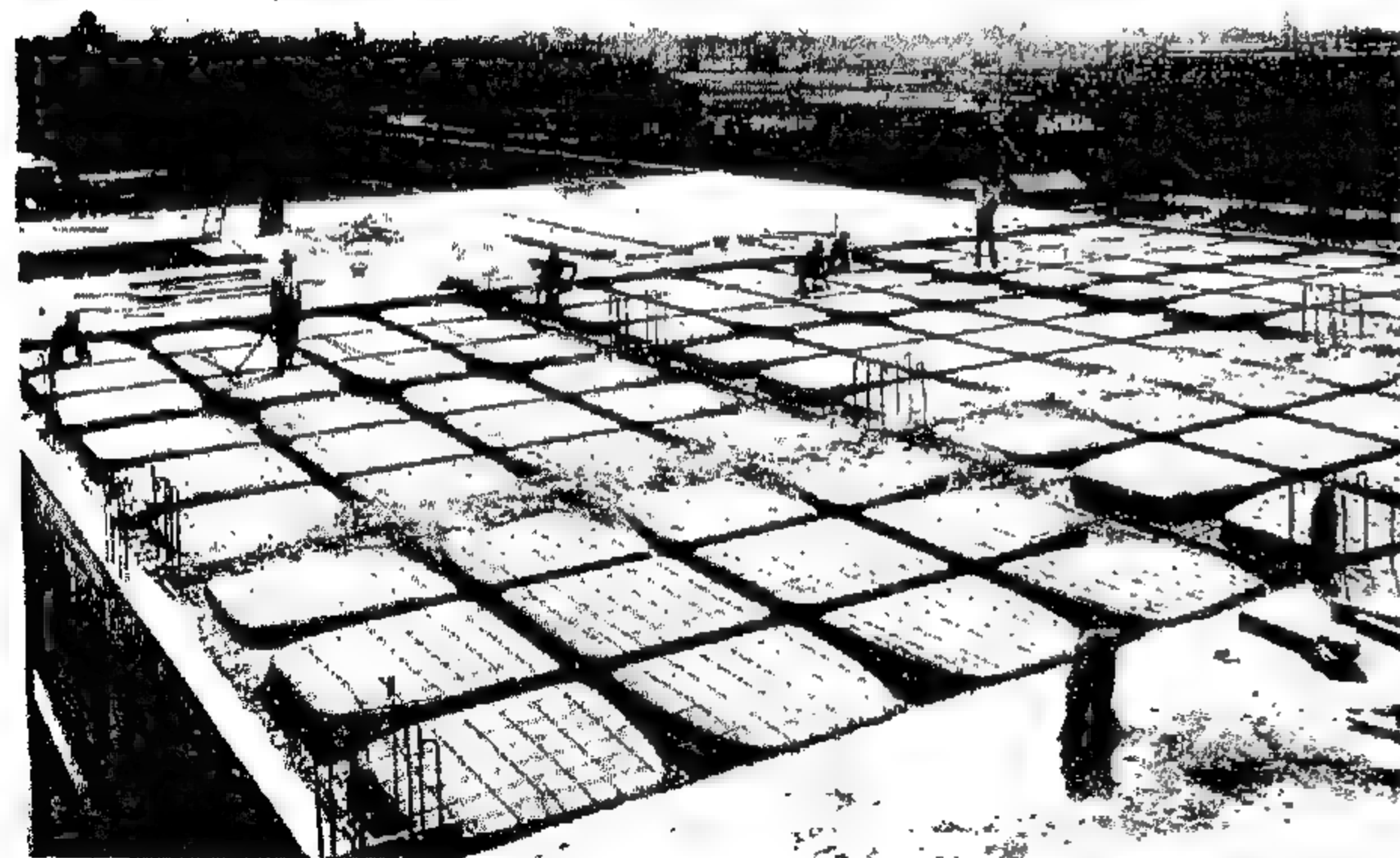
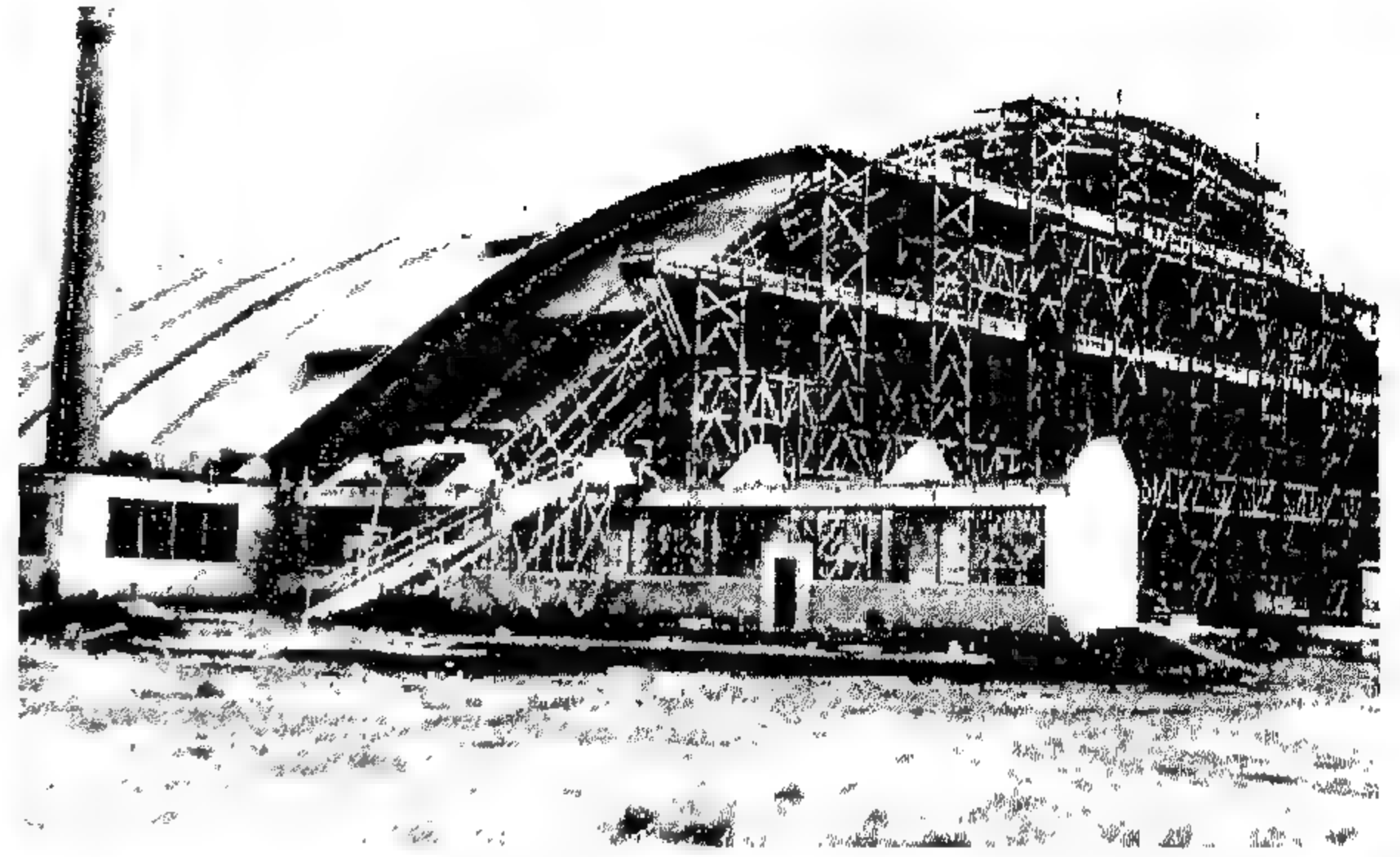
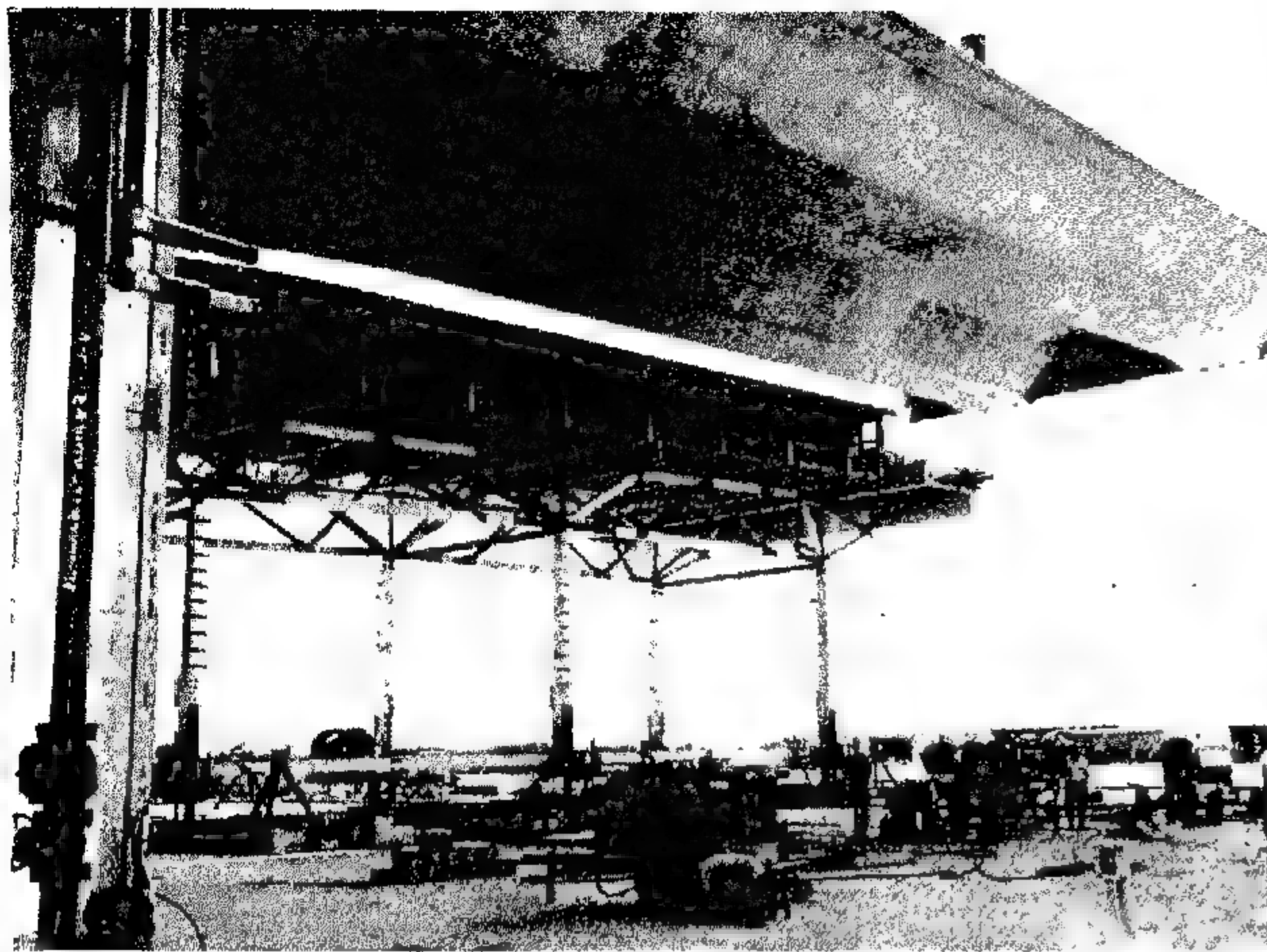
الاستعمال المتعددة للصلبات - البالونات

المهندس المعماري اليوت فوزي.

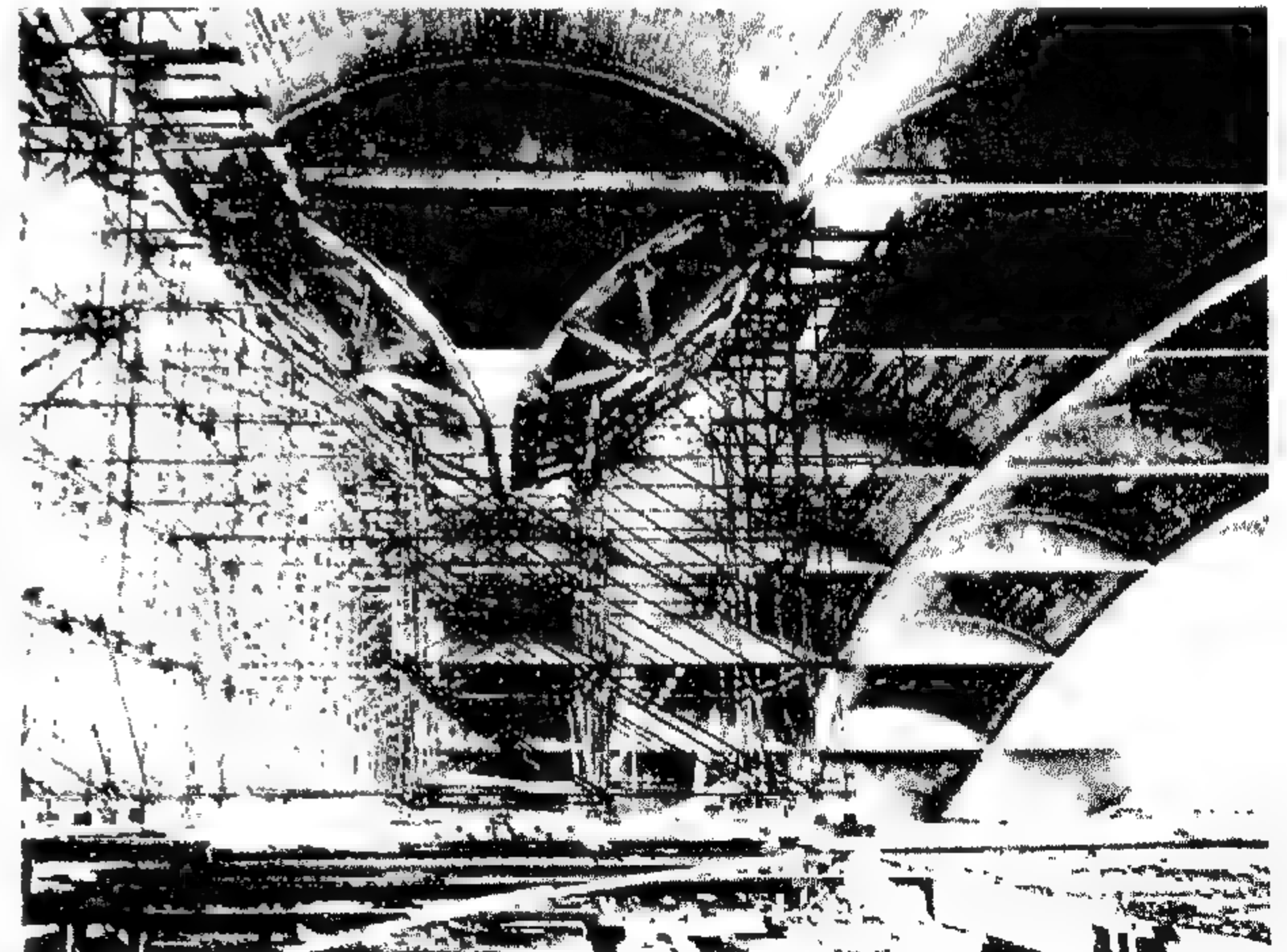
(شكل ١٥٩) ملء البالونة بالهواء.

(شكل ١٦٠) التسليح بشبكة أسياخ متقاطعة عند القاعدة.

(شكل ١٦١) رش الخرسانة فوق البالونة.



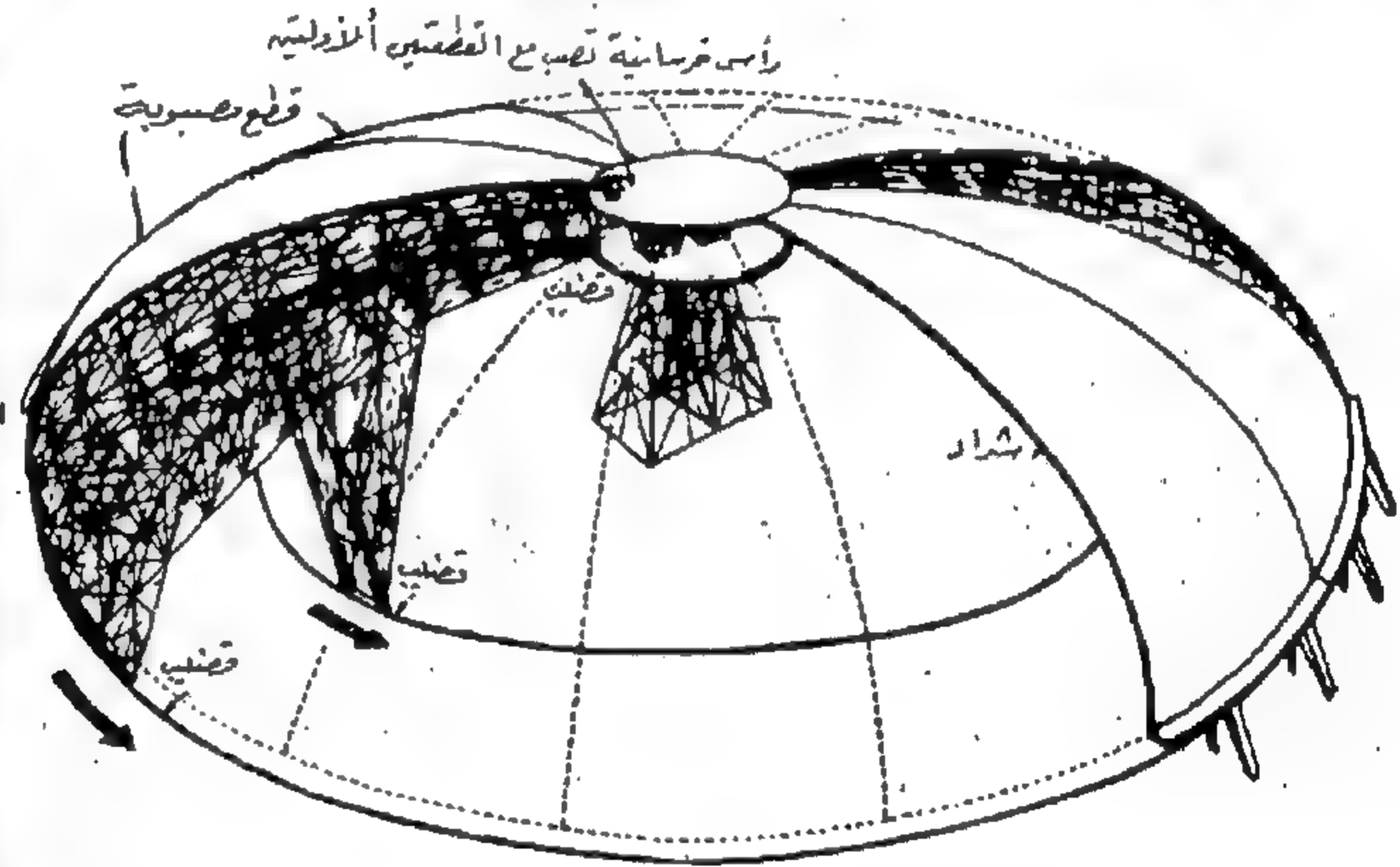
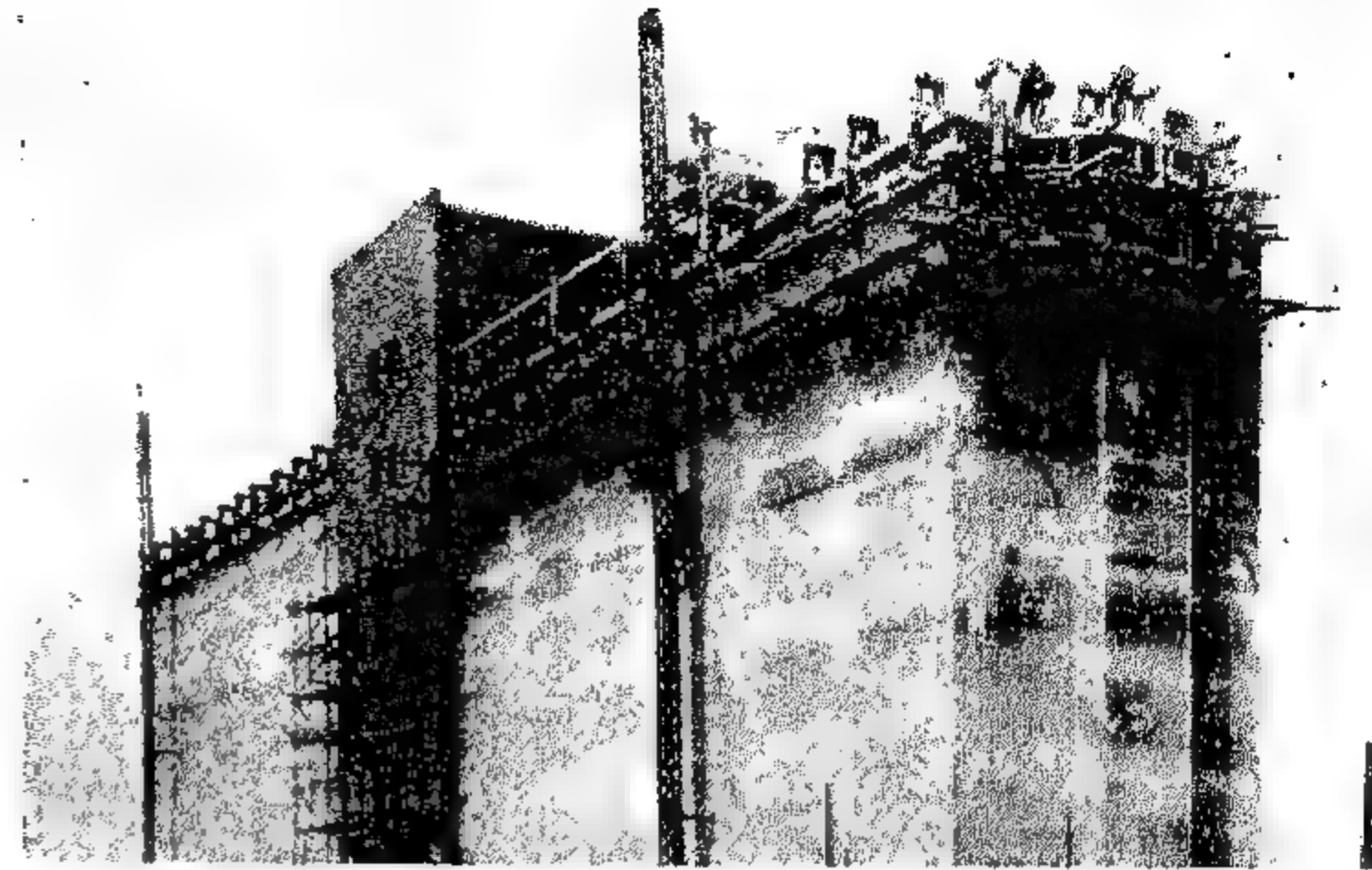
شكل ١٦٥



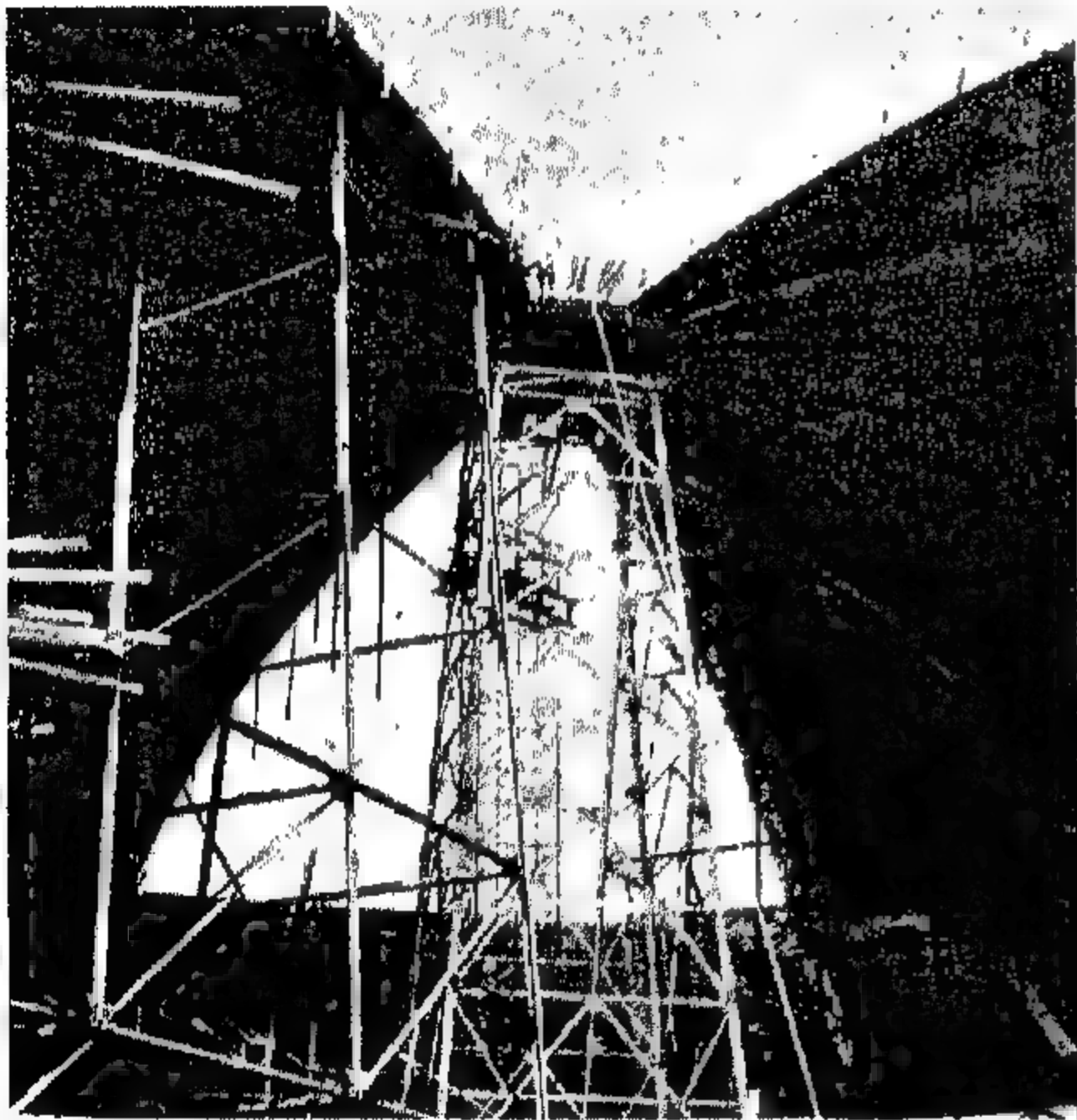
شكل ١٦٤

الاستعمال المتعدد للصلبات المتحركة أفقياً

- (شكل ١٦٢) صلبة متحركة لصدفة أسطوانية قصيرة .
 (شكل ١٦٣) جمالون خشبي بروفانج رأسية - حظيرة طائرات
 شركة ناشنال إيرلاينز - ميامي .
 (شكل ١٦٤) صلبة جزئية لحظيرة طائرات بأورلي (١٩٥٠-٥٢)
 (شكل ١٦٥) وحدات أسمنت مسلح متحركة لمصنع طباق في بولونيا .

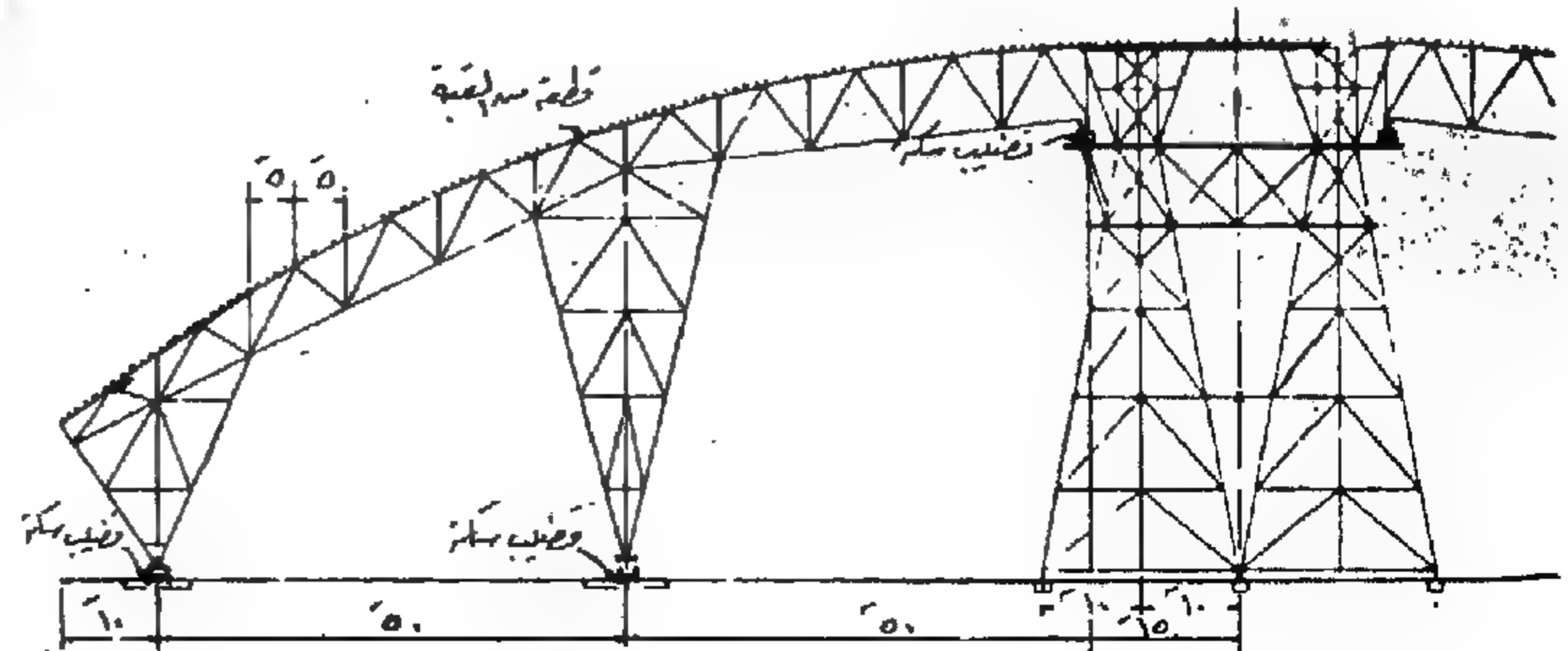


شكل ١٦٨



الاستعمال المتعدد للصبات المتحركة

(شكل ١٦٦) - صلبات تتحرك رأسياً مستعملة في إنشاء صوامع مربعة.
(شكل ١٦٧) موقع العمل في مشروع ناسبيدال بجوار استكهولم من ثمان عمارات (١٧ دوراً) - أبراج الخدمة صبت بالشدات المتحركة كونيكريتور - بروميتو.
(شكل ١٦٨) صلبات متحركة دائرية مستعملة في إنشاء شرائح من صدفات قشرية على شكل قباب.

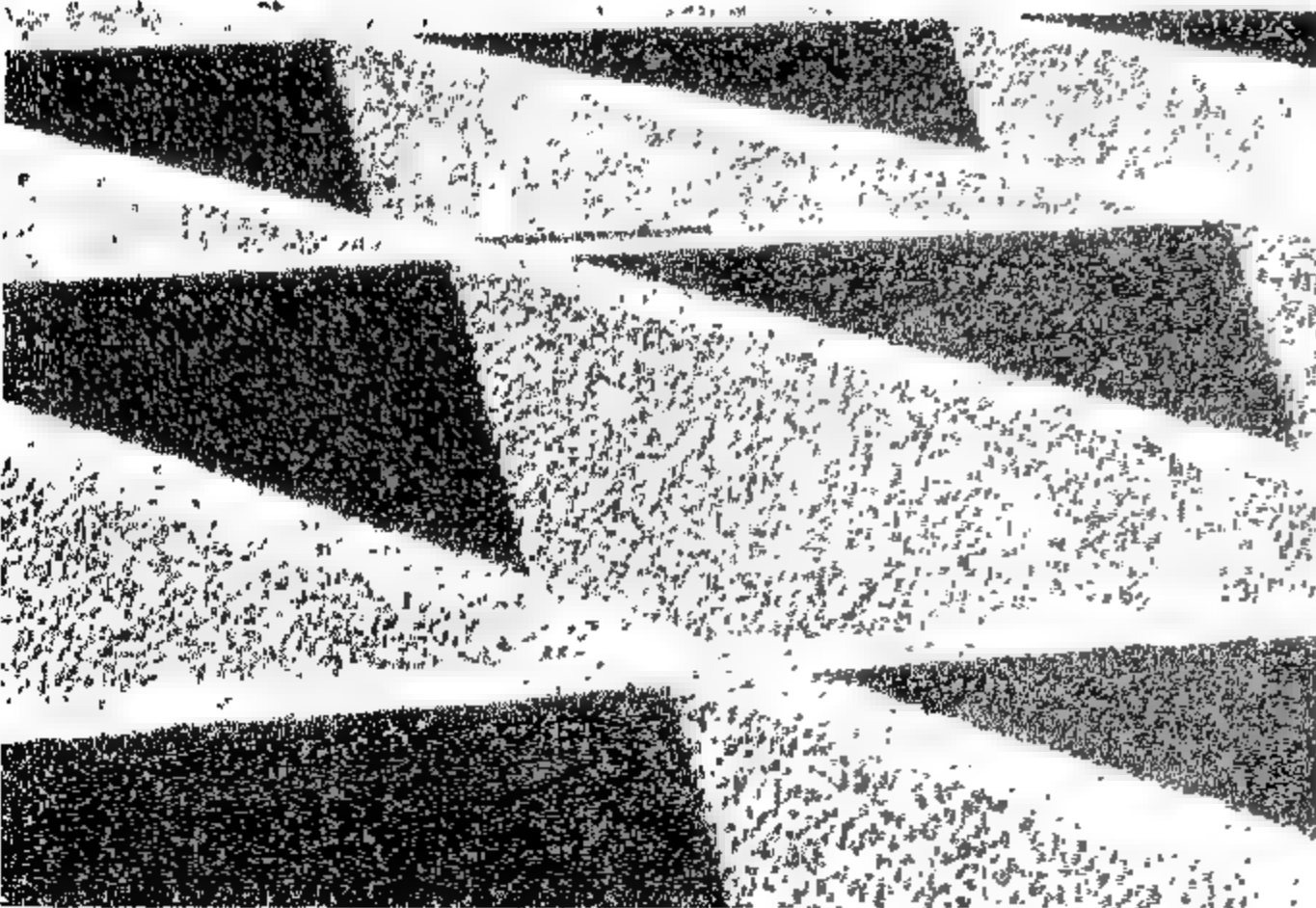


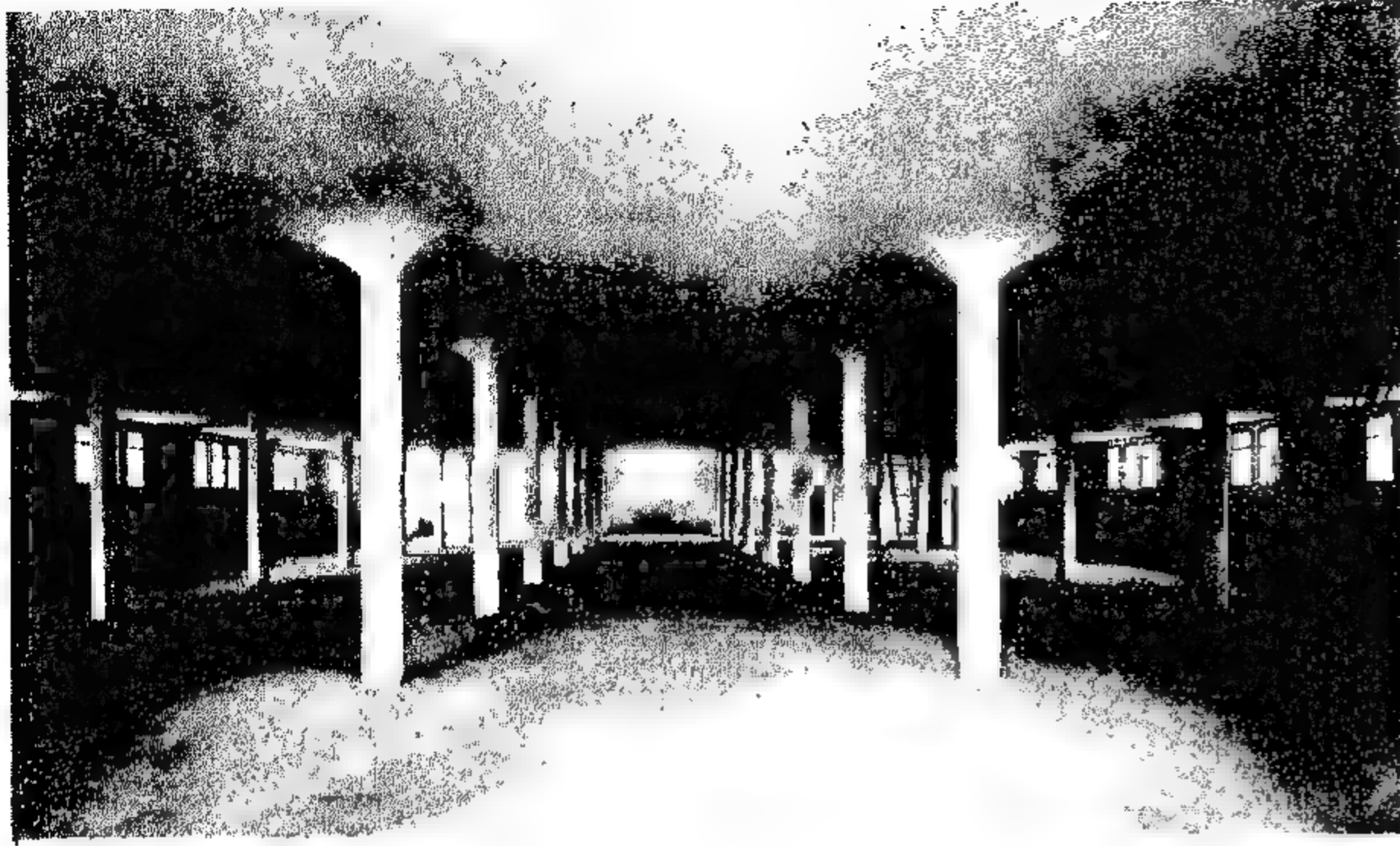


معالجة السطح الخرساني

(شكل ١٦٩) أسطح خرسانية ذات ملمس خشن
(شكل ١٧٠) الفنان أثناء عمله بمسدس الرمل على السطح الخرساني
الخارجي للمبنى الحكوي بمدينة أوصلو .

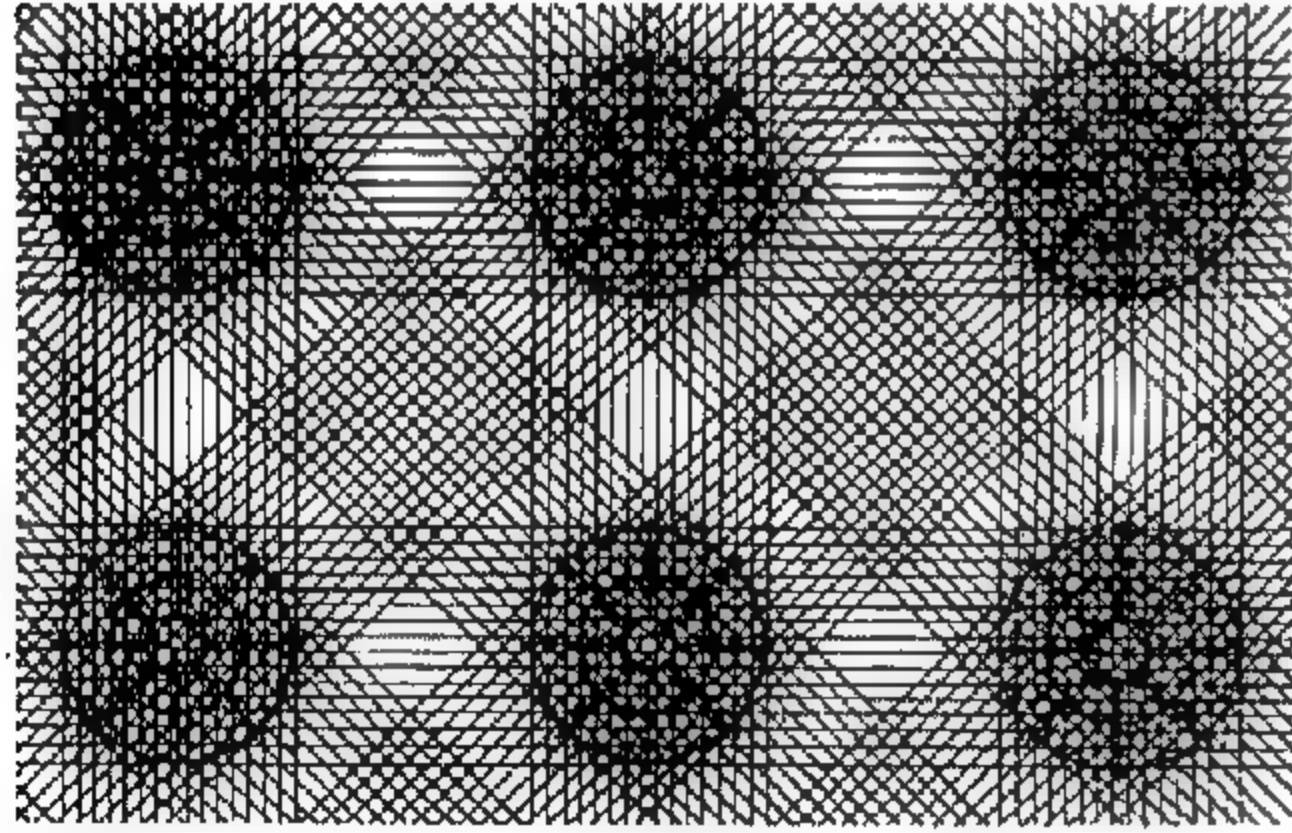
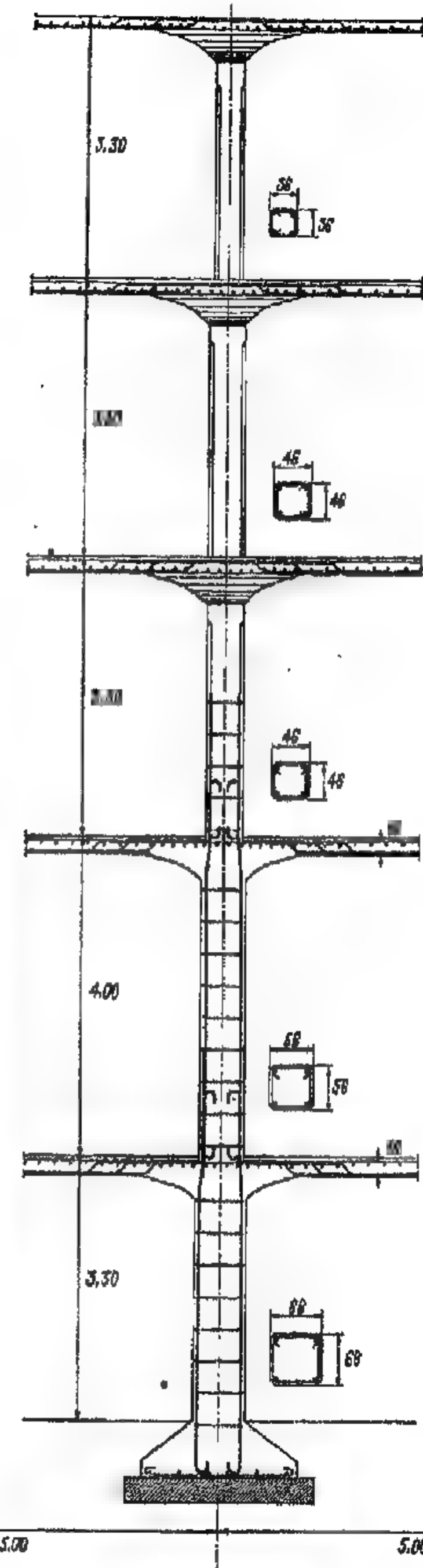
شكل ١٧٠



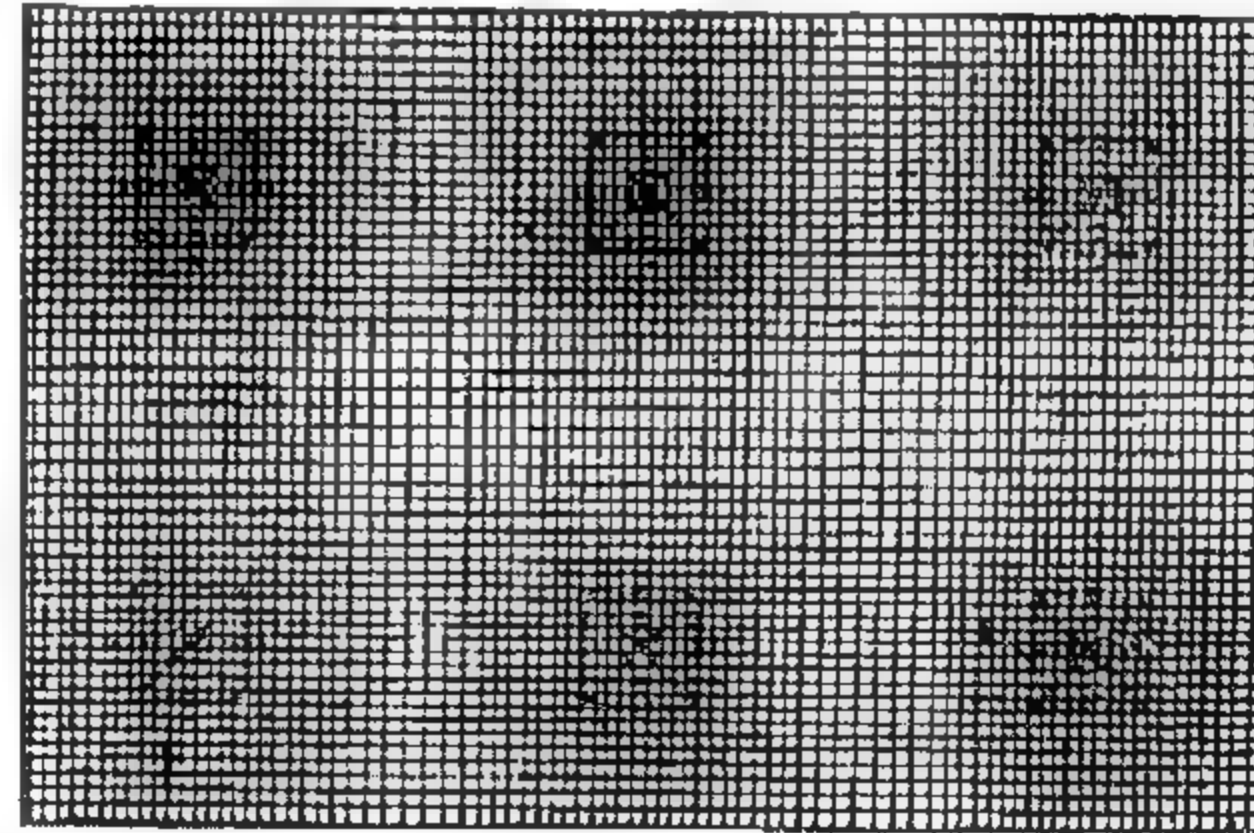


شكل ١٧١

شكل ١٧٢



ب



أ

شكل ١٧٣

البلاطة الخرسانية كوحدة إنشائية فعالة

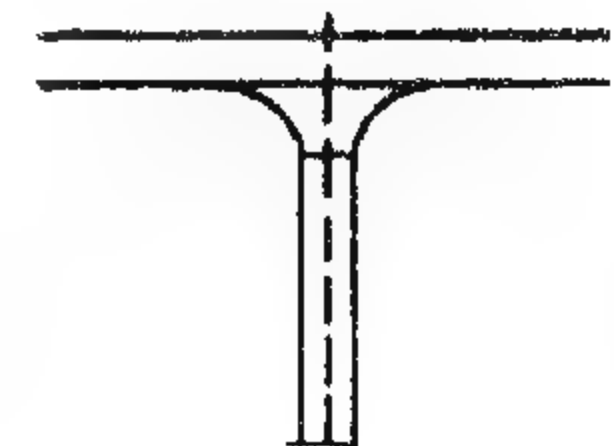
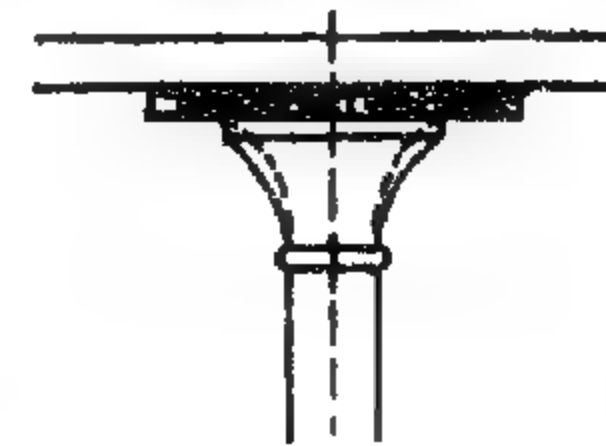
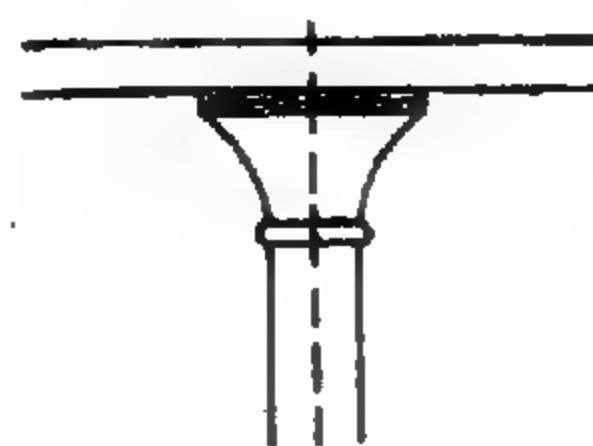
المهندس روبرت مايار

(شكل ١٧١) مخازن شركة بشلشافت بزيورخ ١٩١٠ .

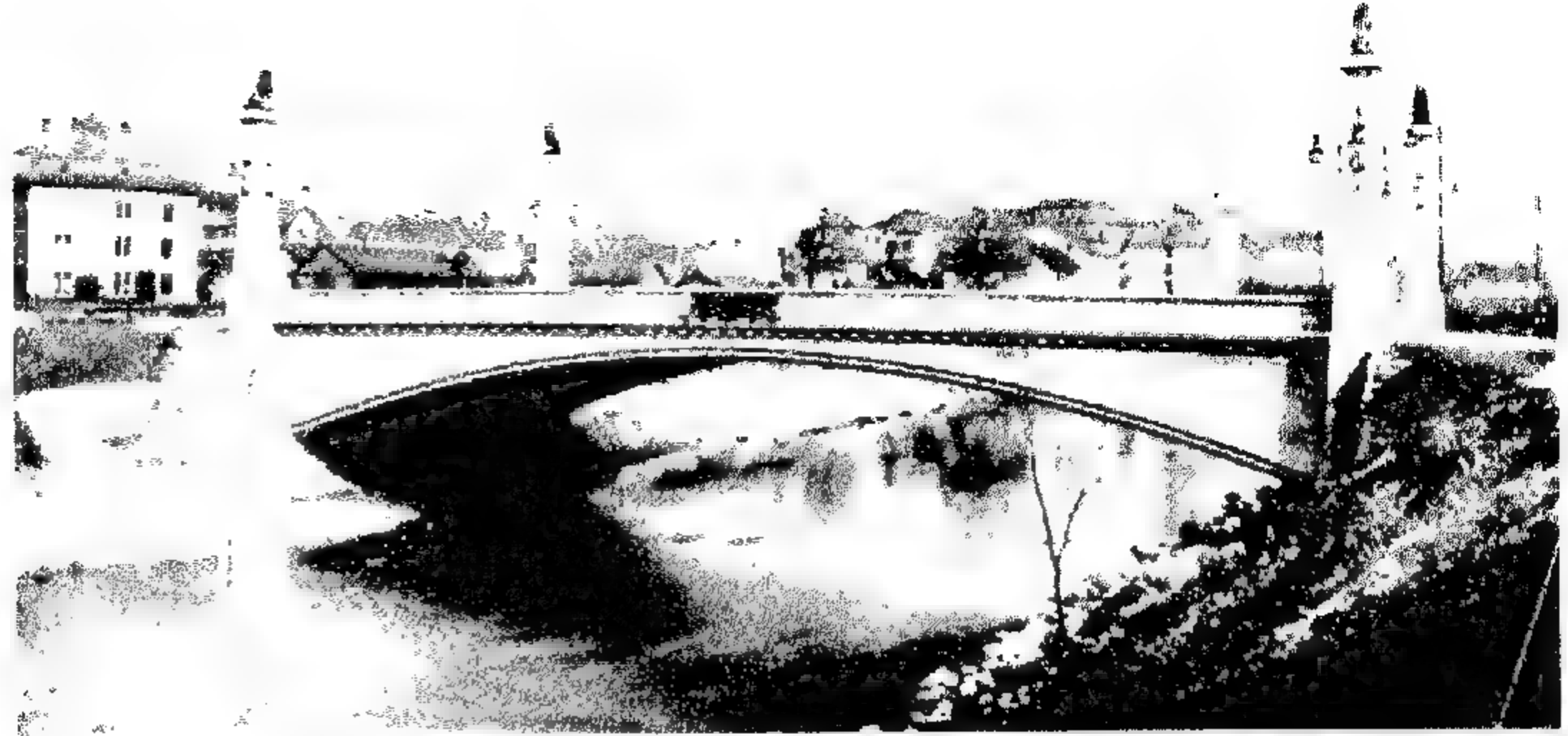
(شكل ١٧٢) مخازن التدوير ١٩١٢ - قطاع

(شكل ١٧٣) مقارنة بين طريقة مايار (أ) وطريقة تيرنر (ب)

للأعمدة المشروية



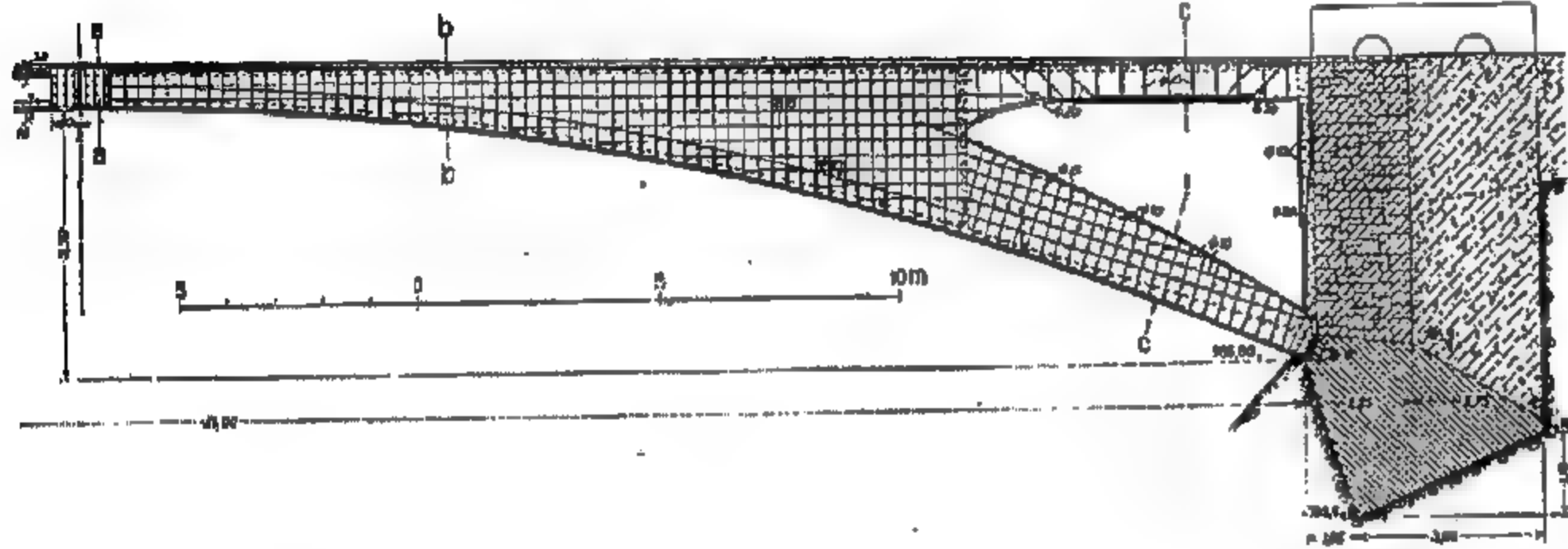
شكل ١٧٤



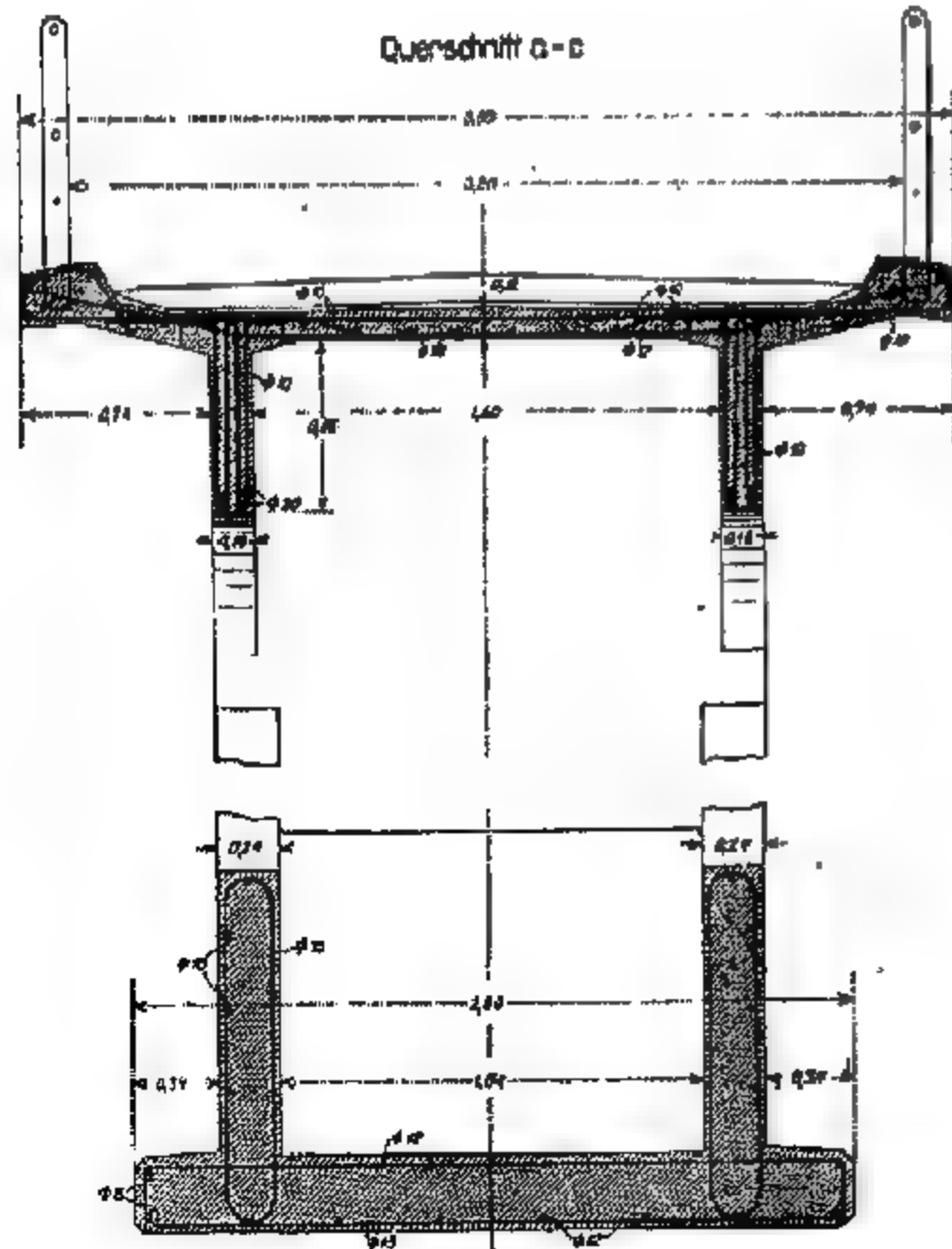
شكل ١٧٥



شكل ١٧٦

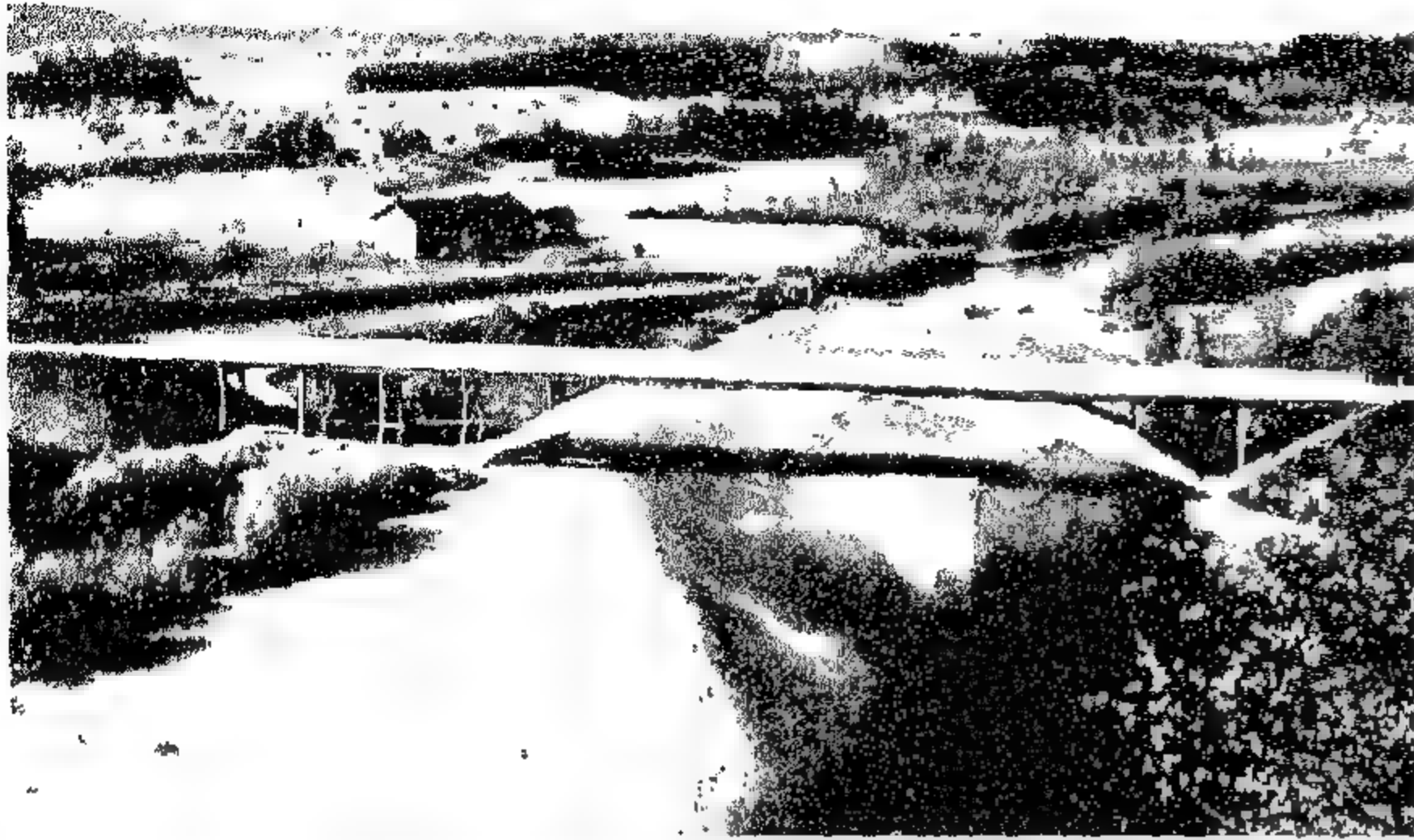


شكل ١٧٧

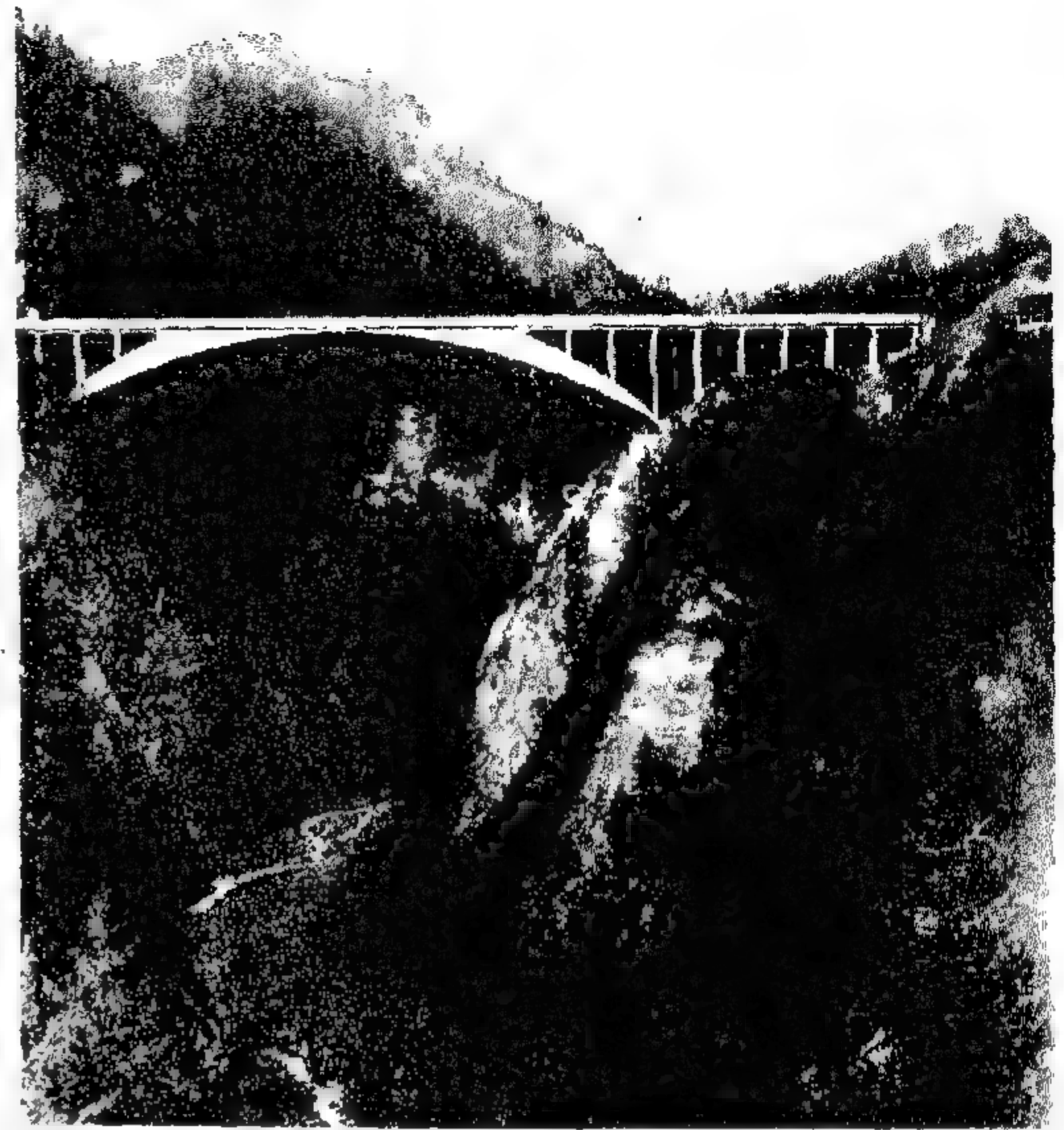
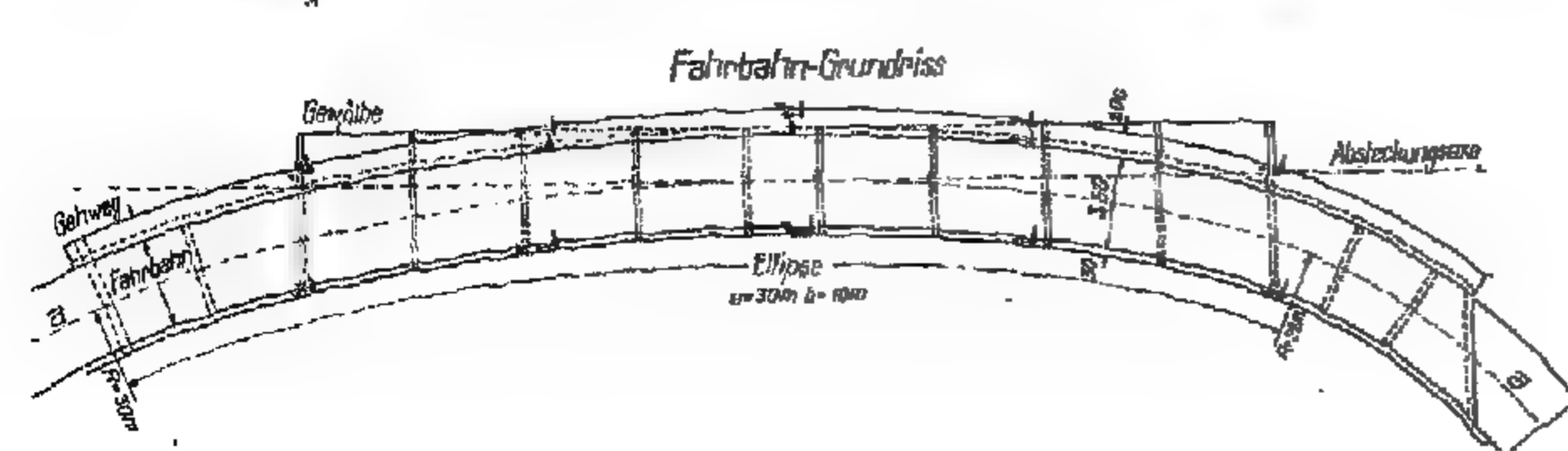
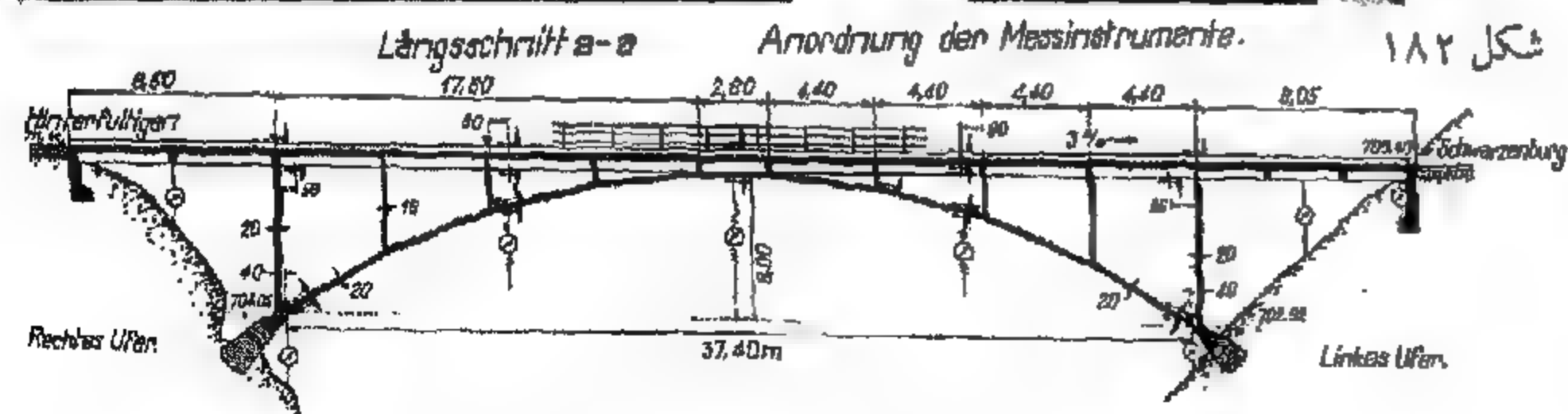
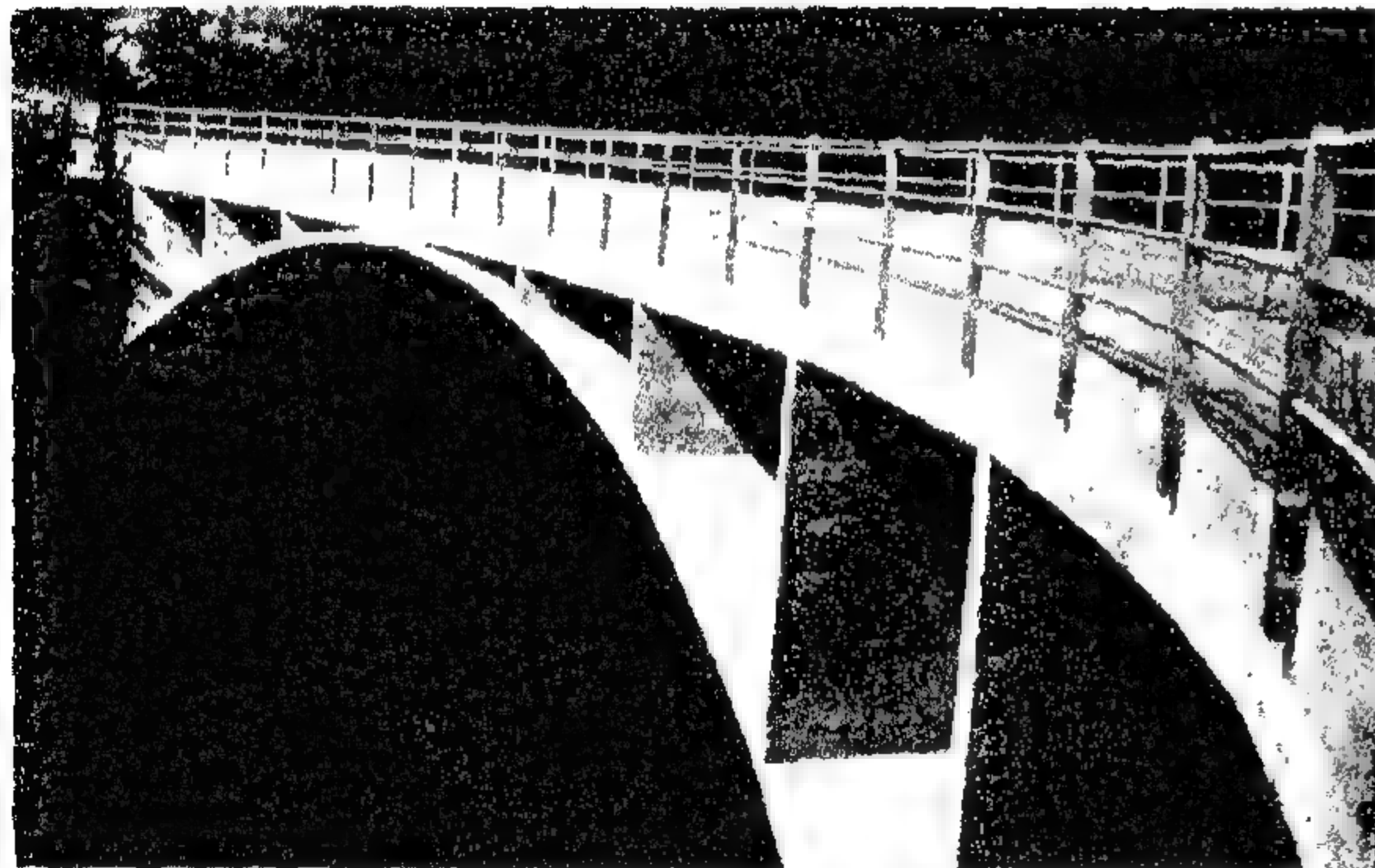


البلاطة كعنصر إنشائي فعال - أعمال كباري روبرت مايار

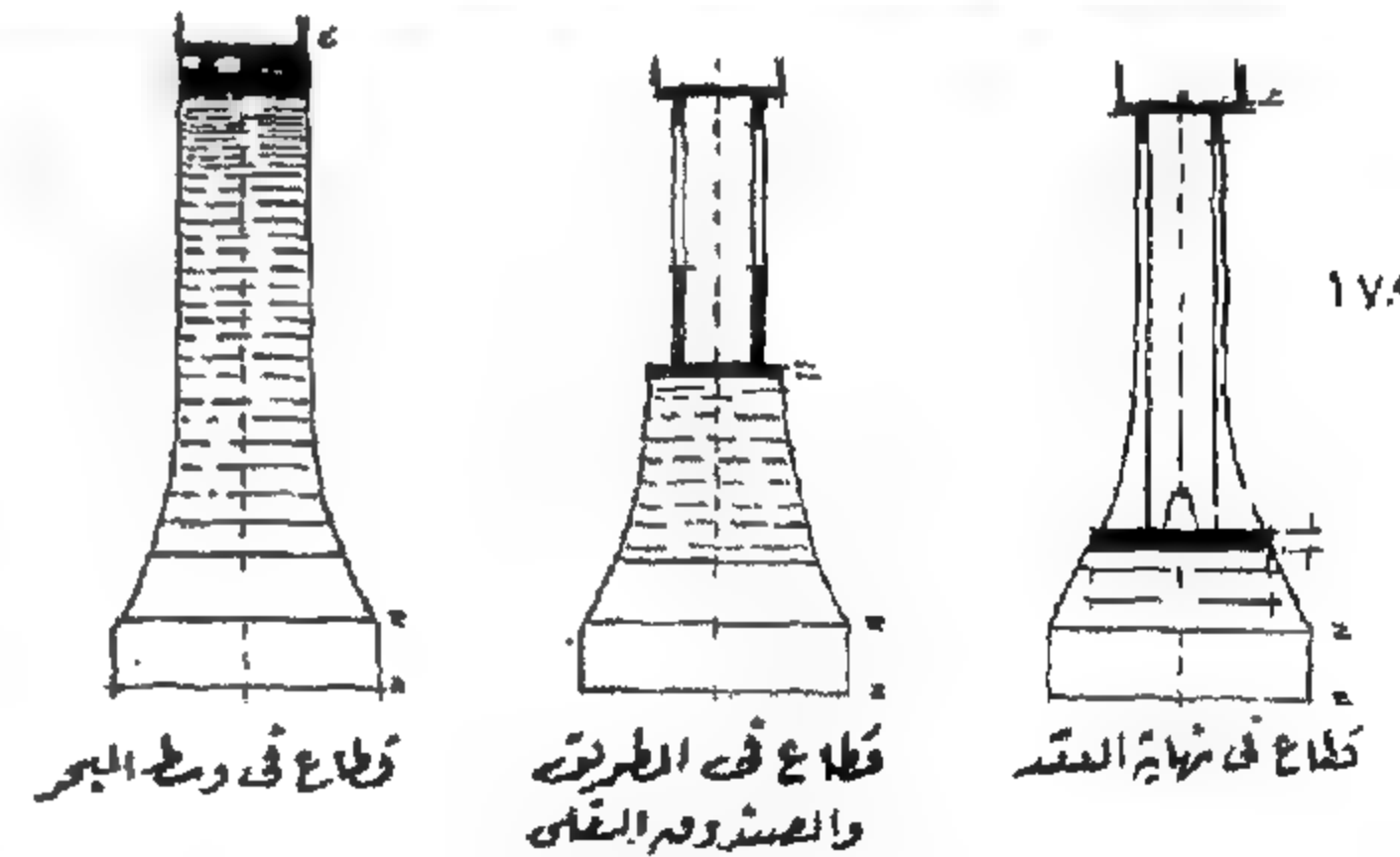
(شكل ١٧٤) كوبري ستاوفرشر بزيورخ سنة ١٨٩٩ (بجر ٣٩,٦ متراً وارتفاع ٣,٧٠ م)
(شكل ١٧٥ - ١٧٧) كوبري تافاناسا سنة ١٩٠٥ - منظورات مقطاعات (طول الكوبري ٥١,٠٠ متراً)



شكل ١٨١



شكل ١٧٩



البلاطة كعنصر إنشائي فعال - أعمال كباري روبرت مايار

(شكل ١٧٨ ، ١٧٩) كوبري ساجناتوبيل سنة ١٩٣٠ - منظور وقطاعات

(طول الكوبري ٩٠٠٤ م)

(شكل ١٨٠) كوبري فلسج سنة ١٩٣٣ (طول الكوبري ٧٢٠٠ م)

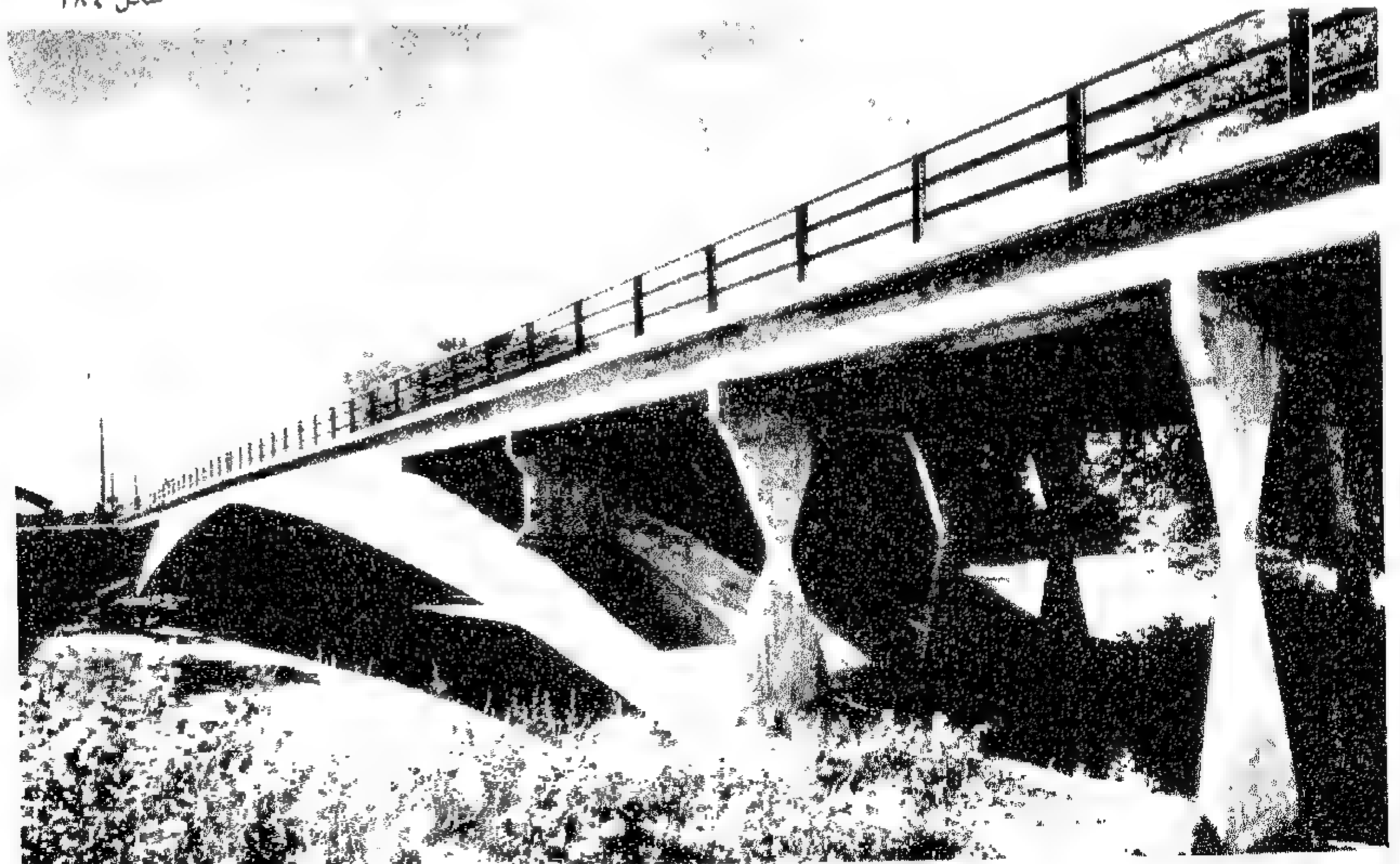
(شكل ١٨١ - ١٨٢) كوبري شفانديباخ بمدينة كانتون بيرن سنة ١٩٣٣



البلاطة كعنصر إنشائي فعال —
أعمال كيارى روبرت مايار

(شكل ١٨٣) كوبرى مشاه فوق
نهر تويس بقرب وولفنجن
سنة ١٩٣٤

(شكل ١٨٤) كوبرى فوق نهر
أرف بجوار جنيف سنة ١٩٣٧
(طول الكوبرى ٥٩٧م٥٥٠)



أمثلة أولى للصدقات القشرية

(شكل ١٨٥) قطاع في صالة سوق

مدینة فرانکفورت علی ماین

سنة ١٩٢٧ .

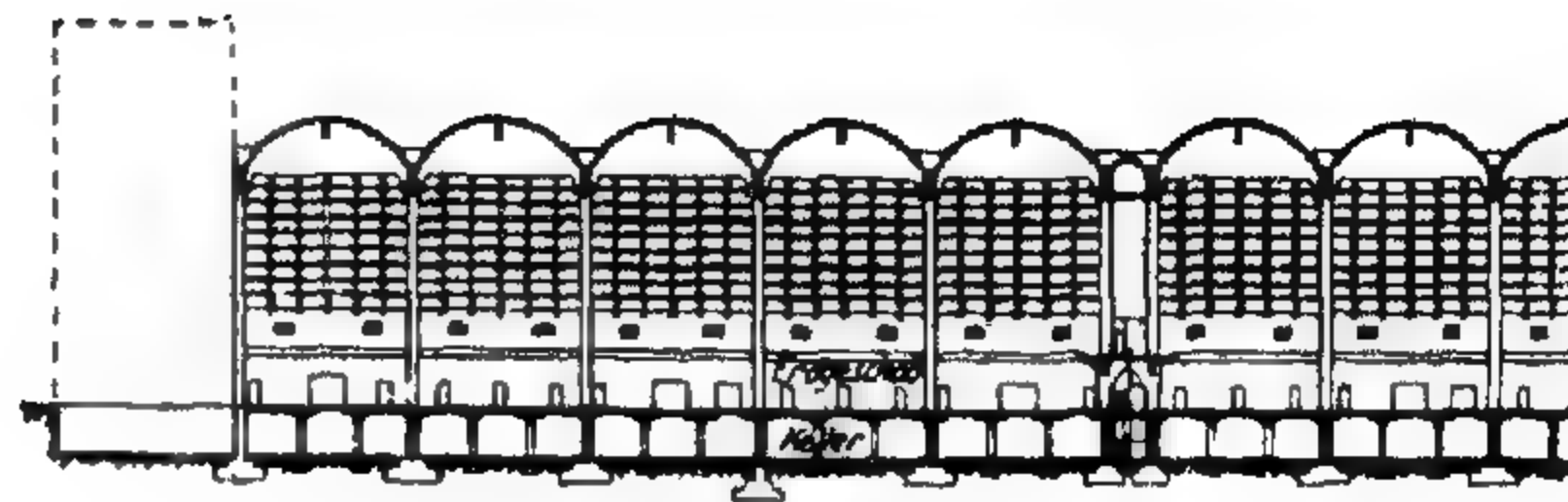
(شكل ١٨٦) قطاع ومسقط نصفي

لصالة مبنى الكهرباء في فرانكفورت

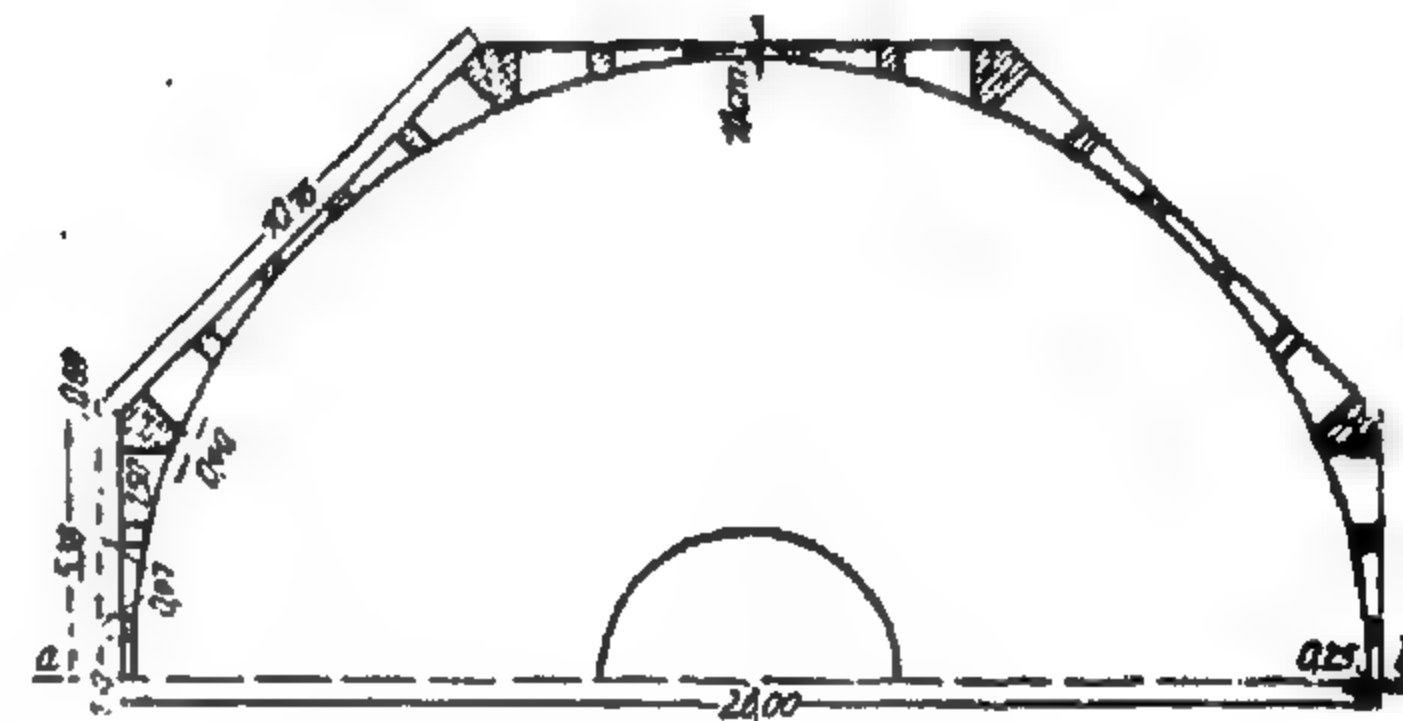
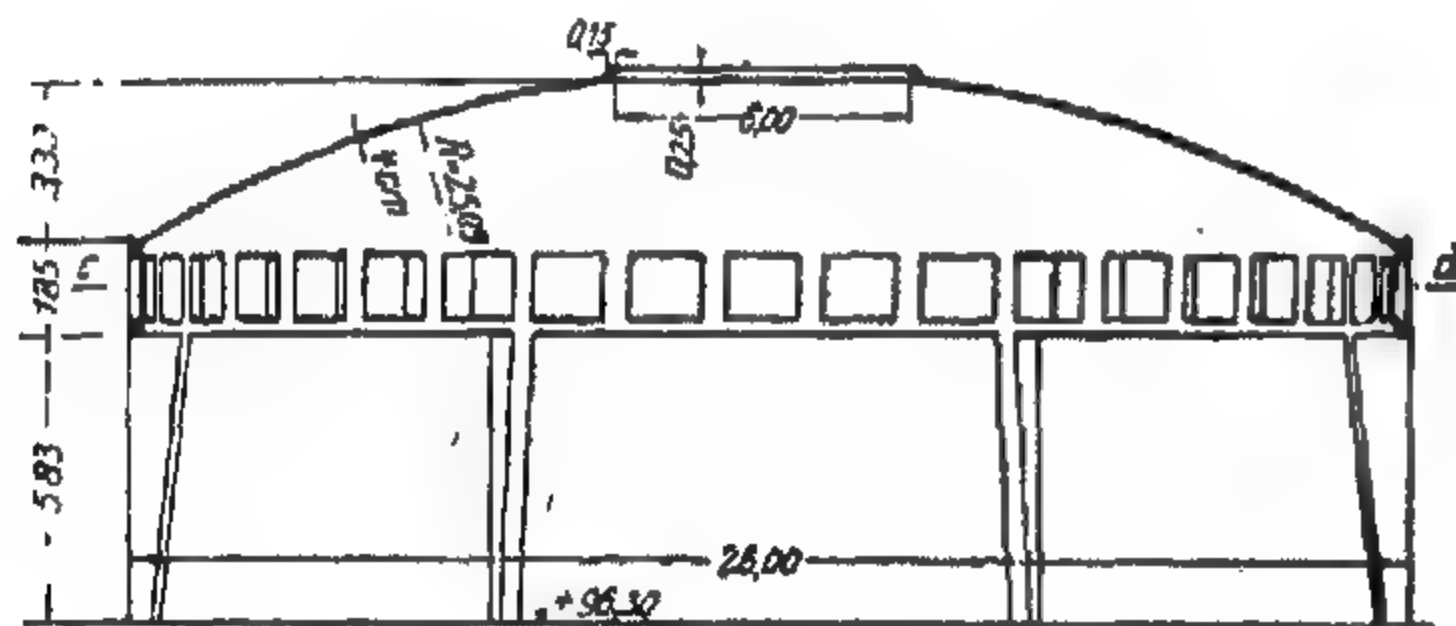
علی ماین

(شكل ١٨٧) قطاع طولي في صالات

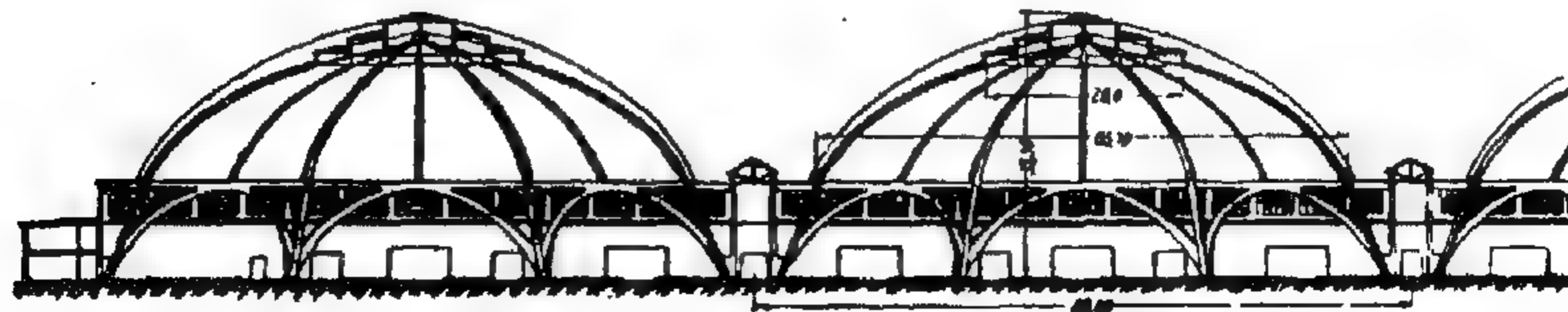
سوق لیپزج سنه ۱۹۲۹ء



شکل ۱۸۵

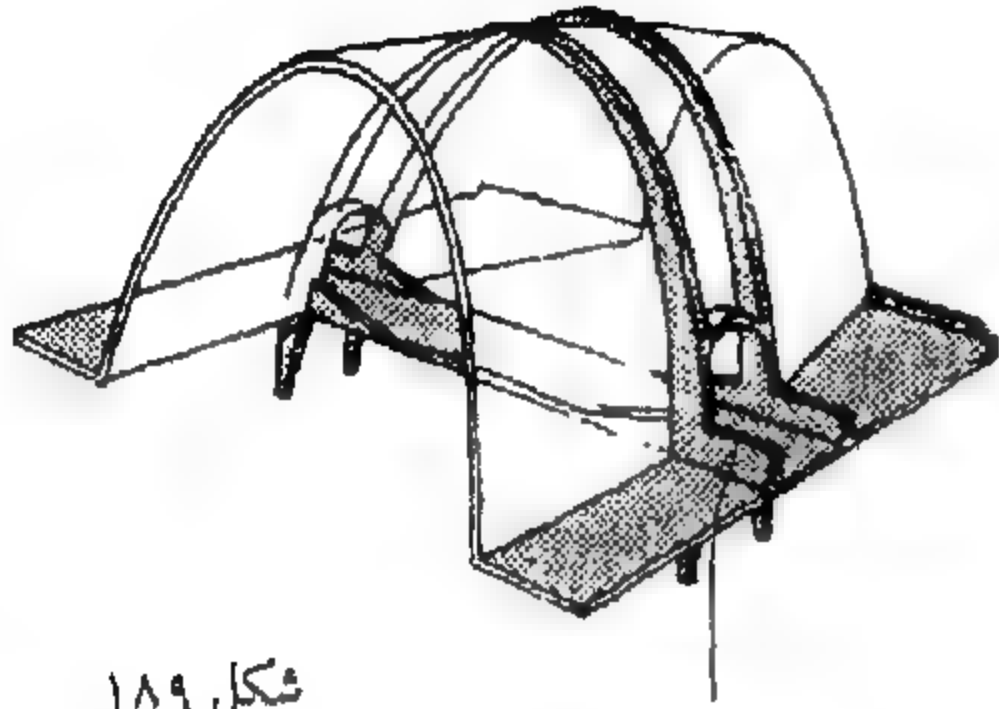
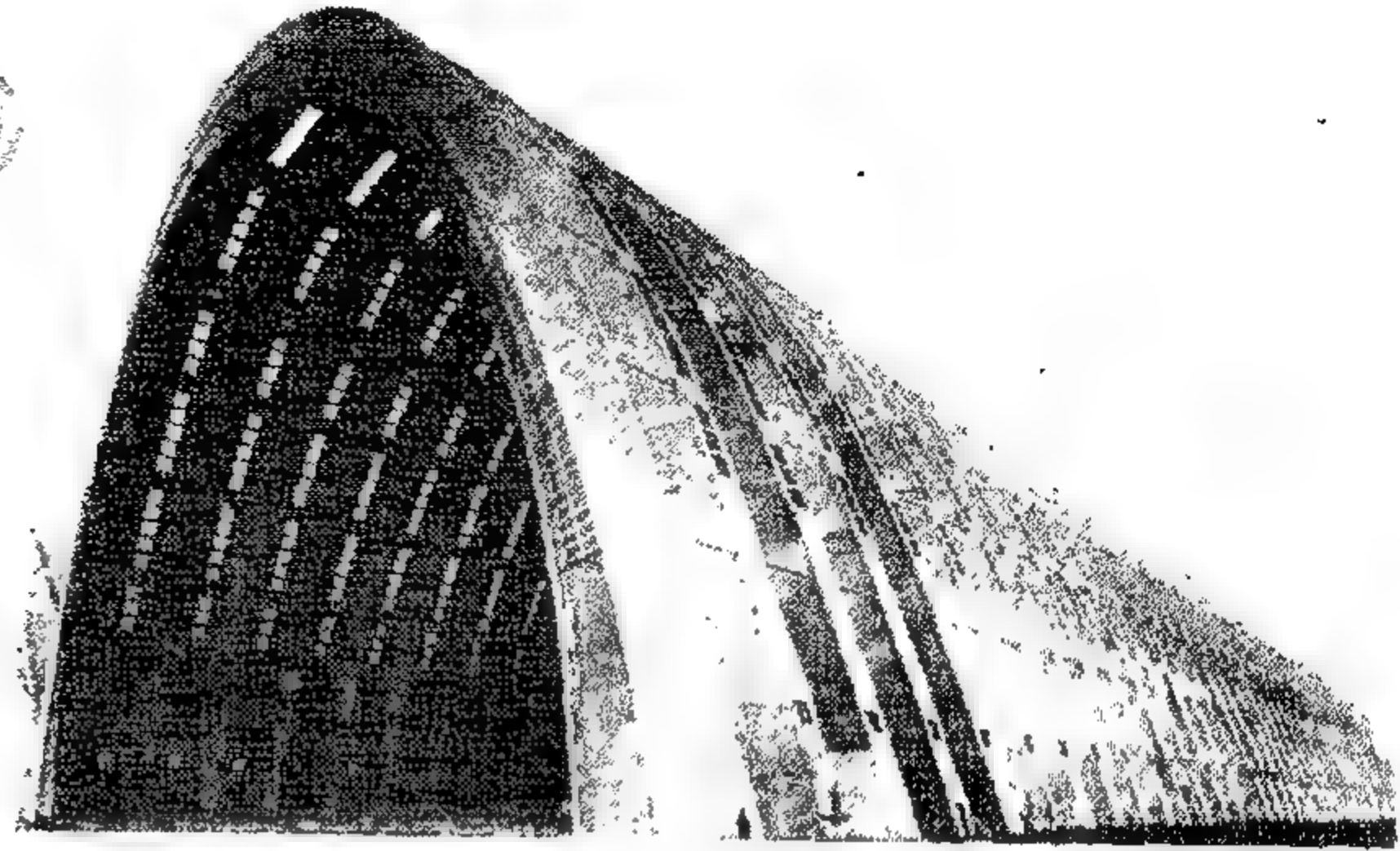


شکل ۱۸۶

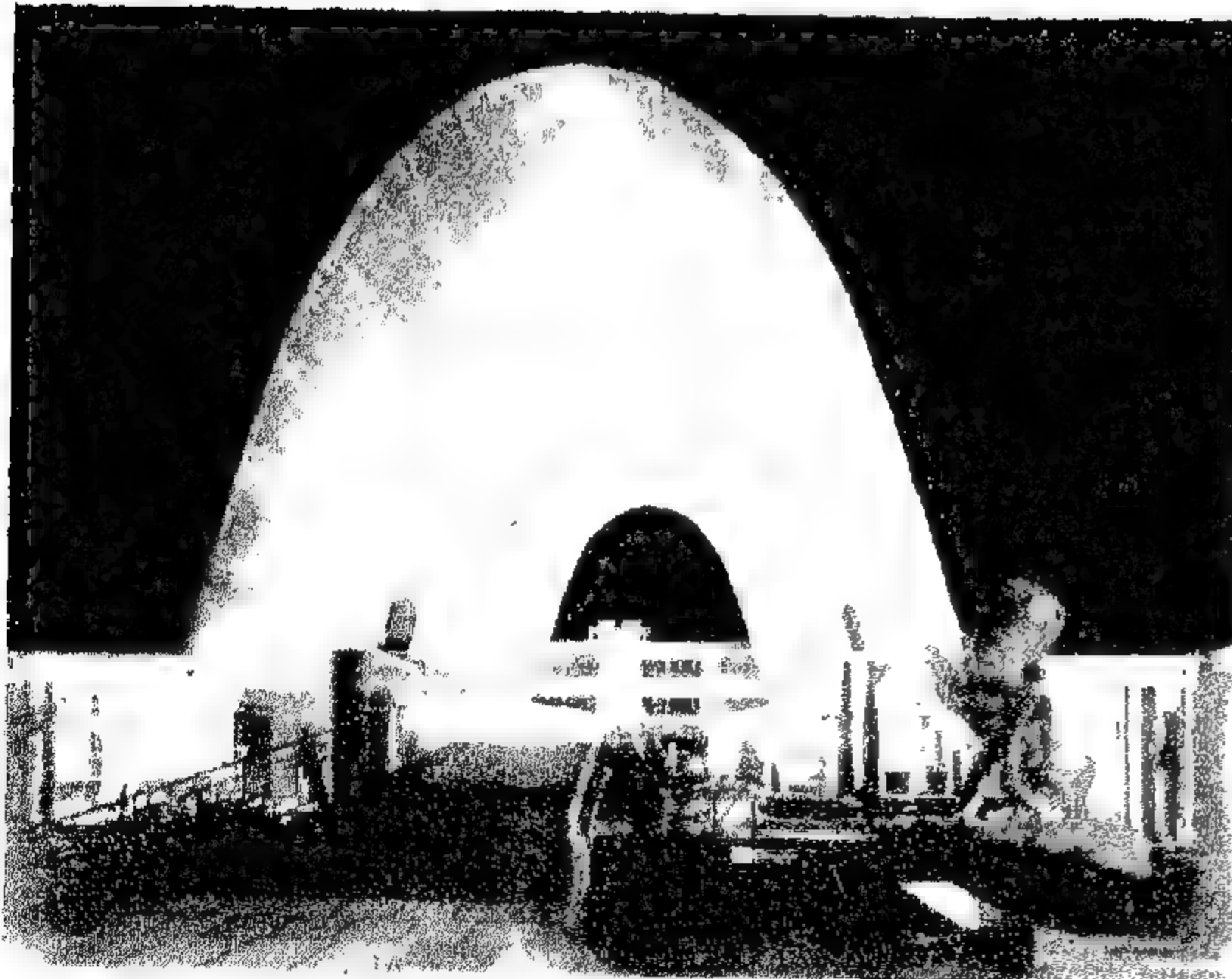


شکل ۱۸۷

شكل ١٨٨

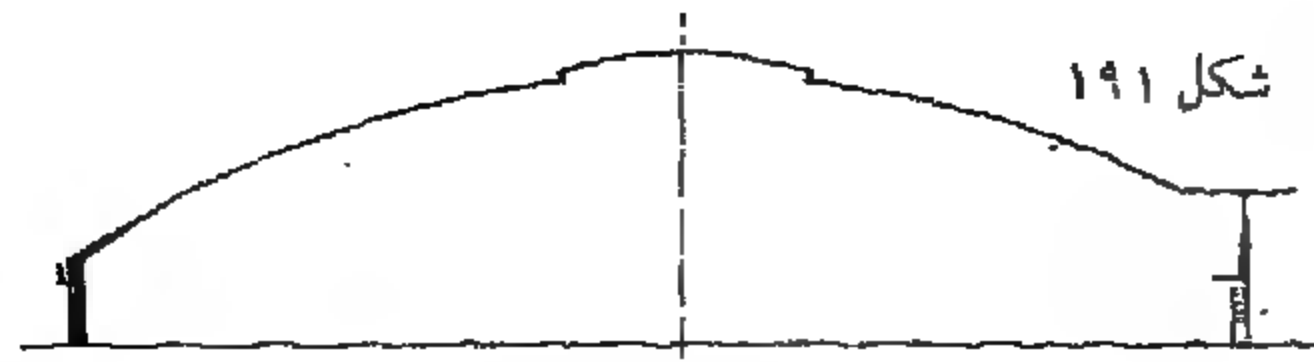


شكل ١٨٩



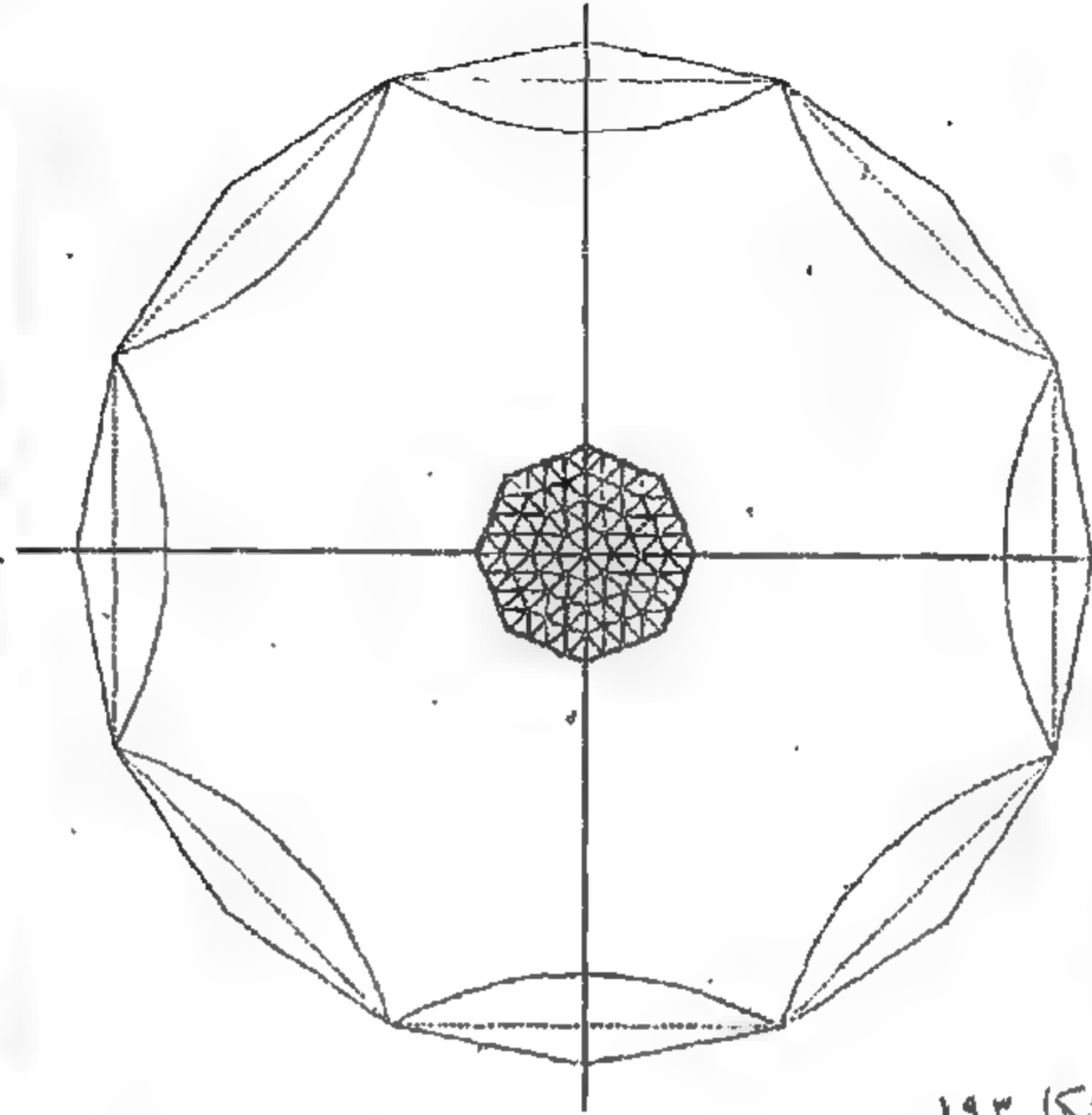
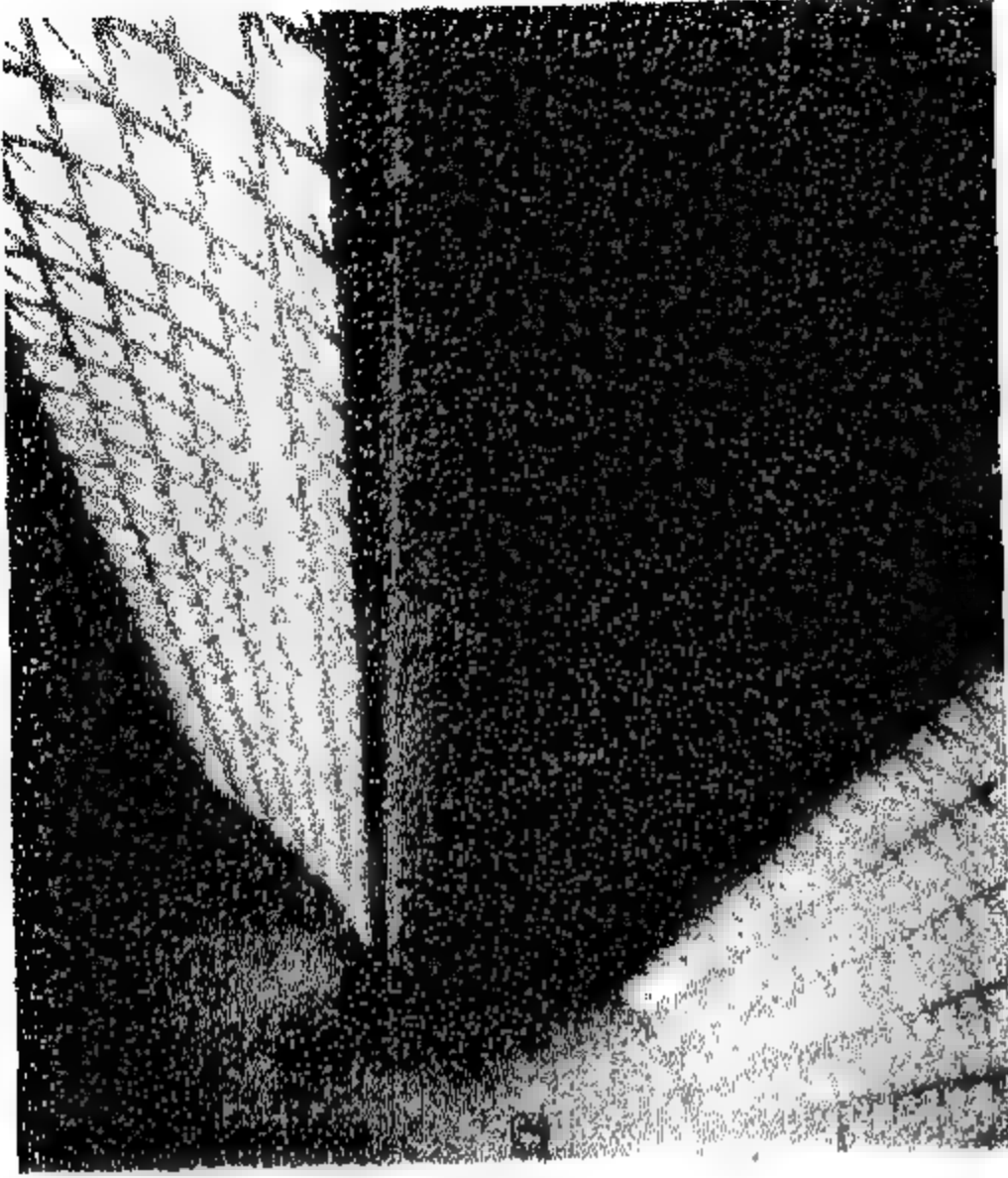
الاستعمالات الأولى للصدفقات القشرية

(شكل ١٨٨) حظيرة الباليونات في أورلي بفرنسا سنة ١٩١٦
(البحر ٣٢٠ قدماً والارتفاع ١٩٥ قدماً).
(شكل ١٨٩) جناح صناعة الأسمنت السويسرية في
المعرض السويسري بزيورخ عام ١٩٣٩ - المهندس
روبرت مايار (البحر ٥٢ قدماً وعشر بوصات والارتفاع
٣٧ قدماً والطول ٧٠ قدماً وسبك الصدفة $2\frac{3}{8}$ بوصة) .



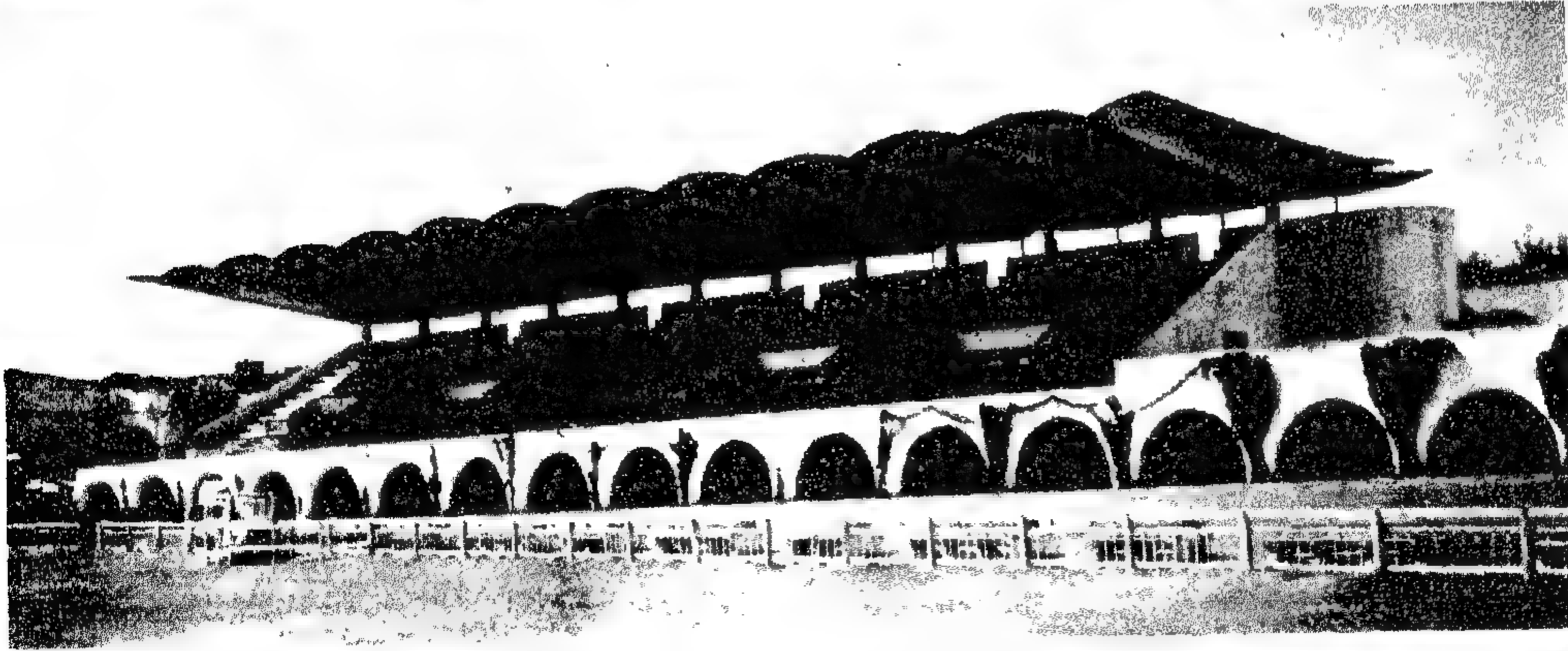
شكل ١٩١

شكل ١٩٢



شكل ١٩٣

شكل ١٩٠



الاستعمالات الأولى للصدفات القشرية — أعمال المهندس تروخا

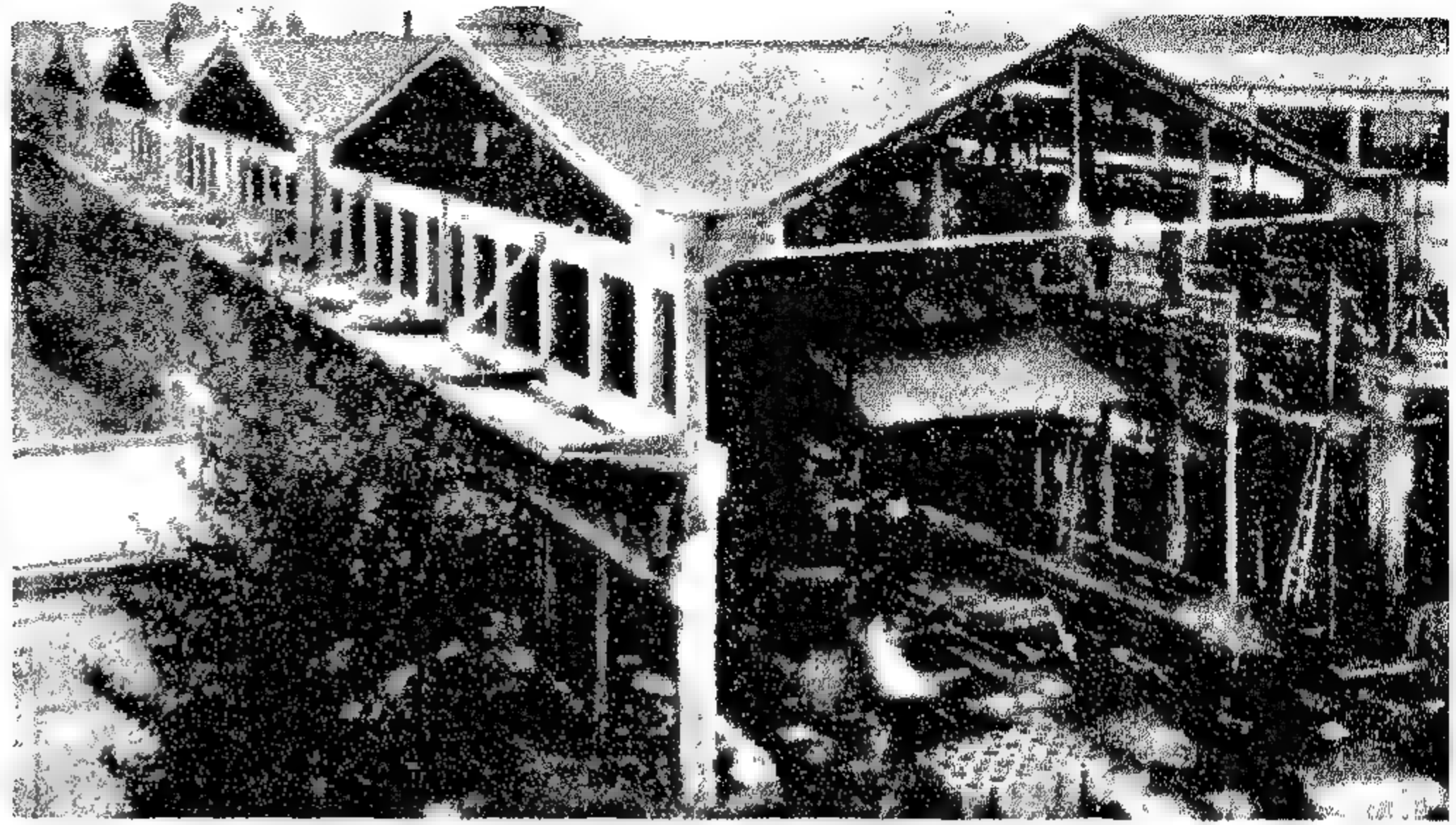
(شكل ١٩٠) السوق في مدينة الجسراس بسقفة على شكل قبة بقطر ١٦٠ قدما (المهندس المعماري د.م. أركاس)

(شكل ١٩١) مسقط أفقي وقطاع .

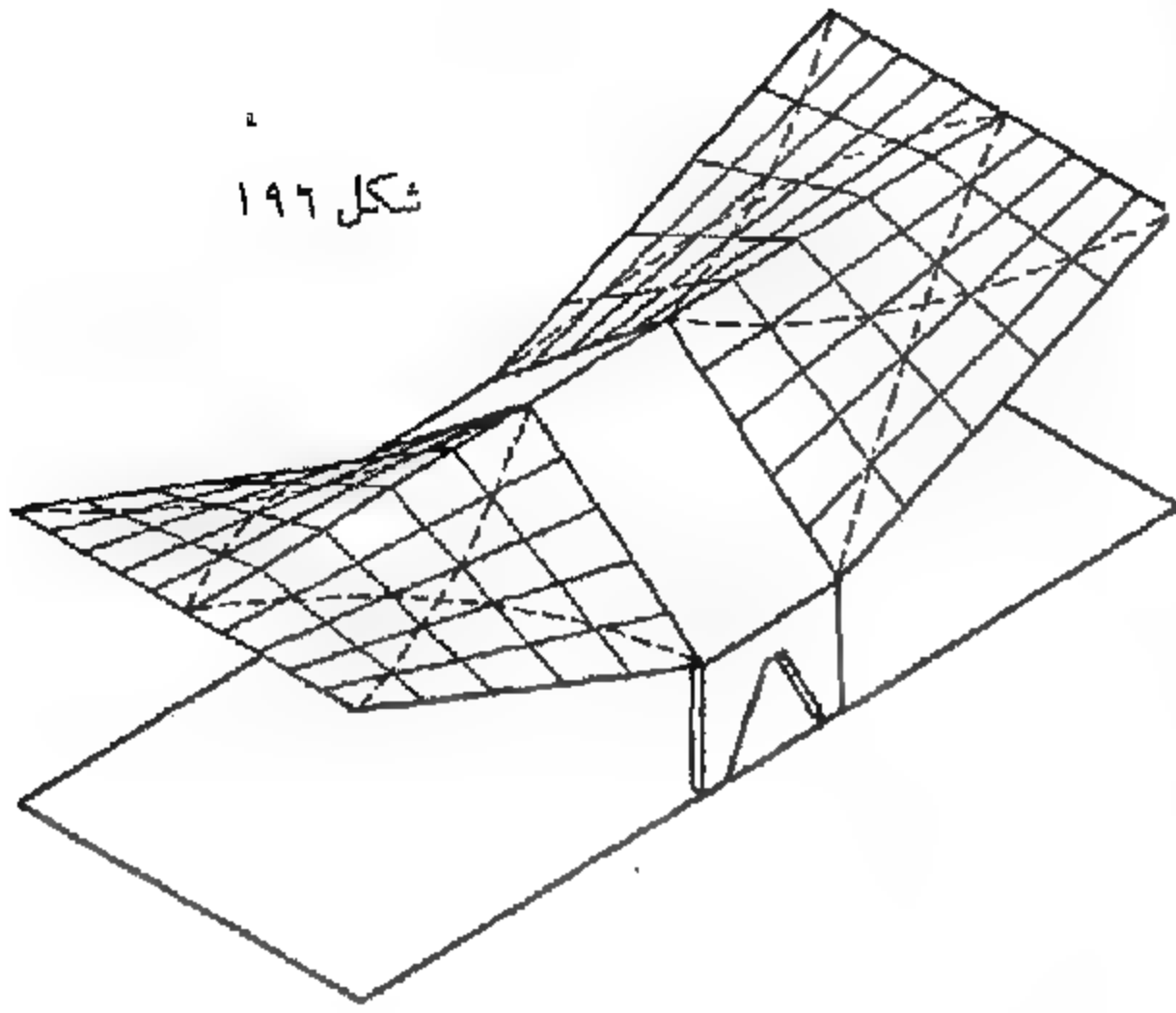
(شكل ١٩٢) صالة فرنزون ريكوليتوس في مدريد في سنة ١٩٣٤ (١٨٠ قدما طولا و ١٠٧ أقدام عرضا)

(شكل ١٩٣) مدرجات حلبة سباق زارزويلا في مدريد سنة ١٩٣٥ .

شكل ١٩٤



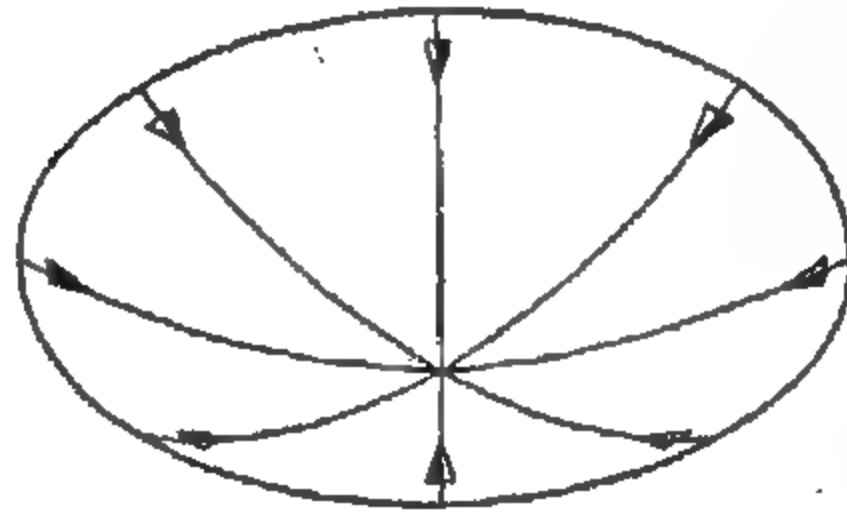
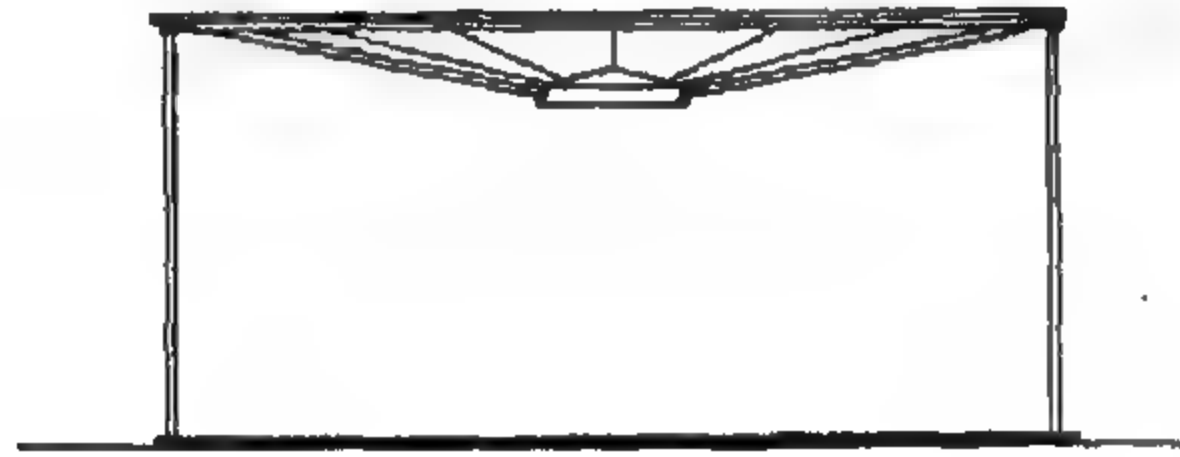
شكل ١٩٦



شكل ١٩٥



شكل ١٩٧



الاستعمال الحديث الأول للأغشية المعلقة

(شكل ١٩٧) مبنى معرض في زغرب سنة ١٩٣٣ - المهندس برنارد لافاي .

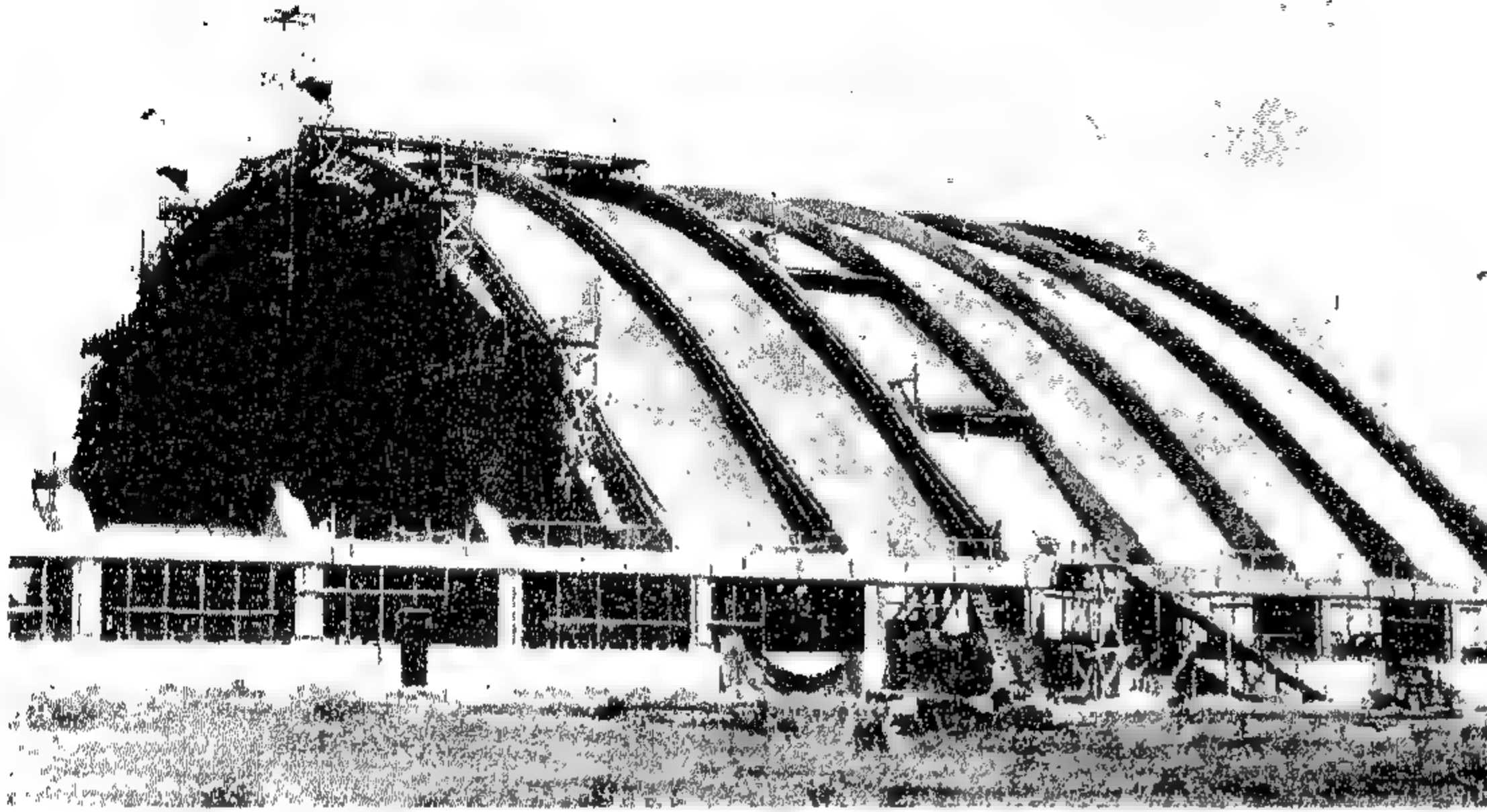
الاستعمالات الأولى للقطاع الزائدي المكافئ

(شكل ١٩٤) سقيفة تخزين لمصانع الفاروميو بميلانو - المهندس جيورجيو باروني .

(شكل ١٩٥) سقف مخزن في مدينة فيرارا للمهندس جيورجيو باروني .

(شكل ١٩٦) سقف تجريبي في درو سنة ١٩٣٣ للمهندس برنارد لافاي .

شكل ١٩٨



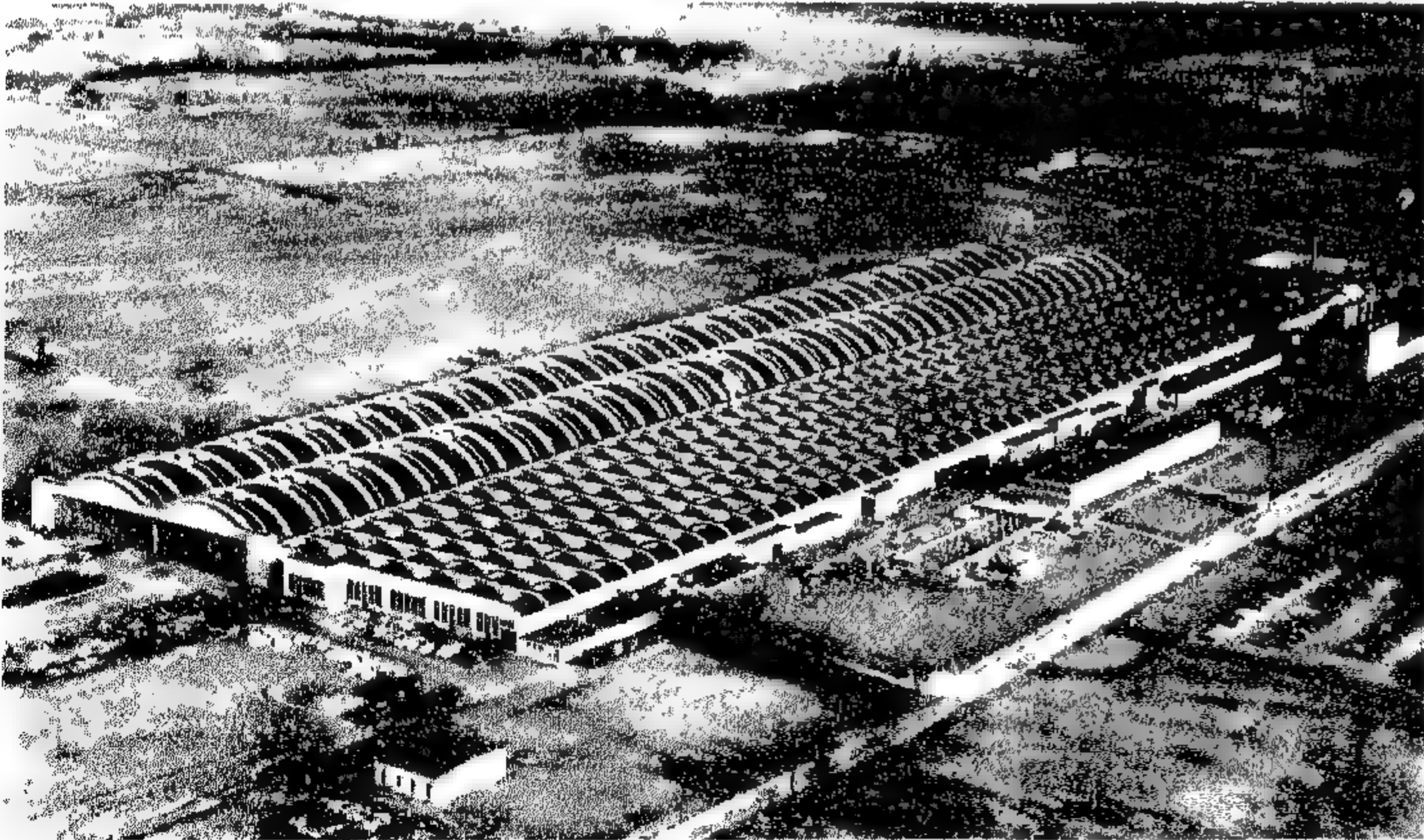
الاستعمالات المبكرة للصدقات القشرية في أمريكا

(شكل ١٩٨) حظيرة طائرات السلاح
الجوى الأمريكى فى رايد سبيى بذاكوتا
الجنوبية وأخرى فى مدينة لايمستون بولاية
مين سنة ١٩٤٩ (بحر ٣٤٠ قدما) .

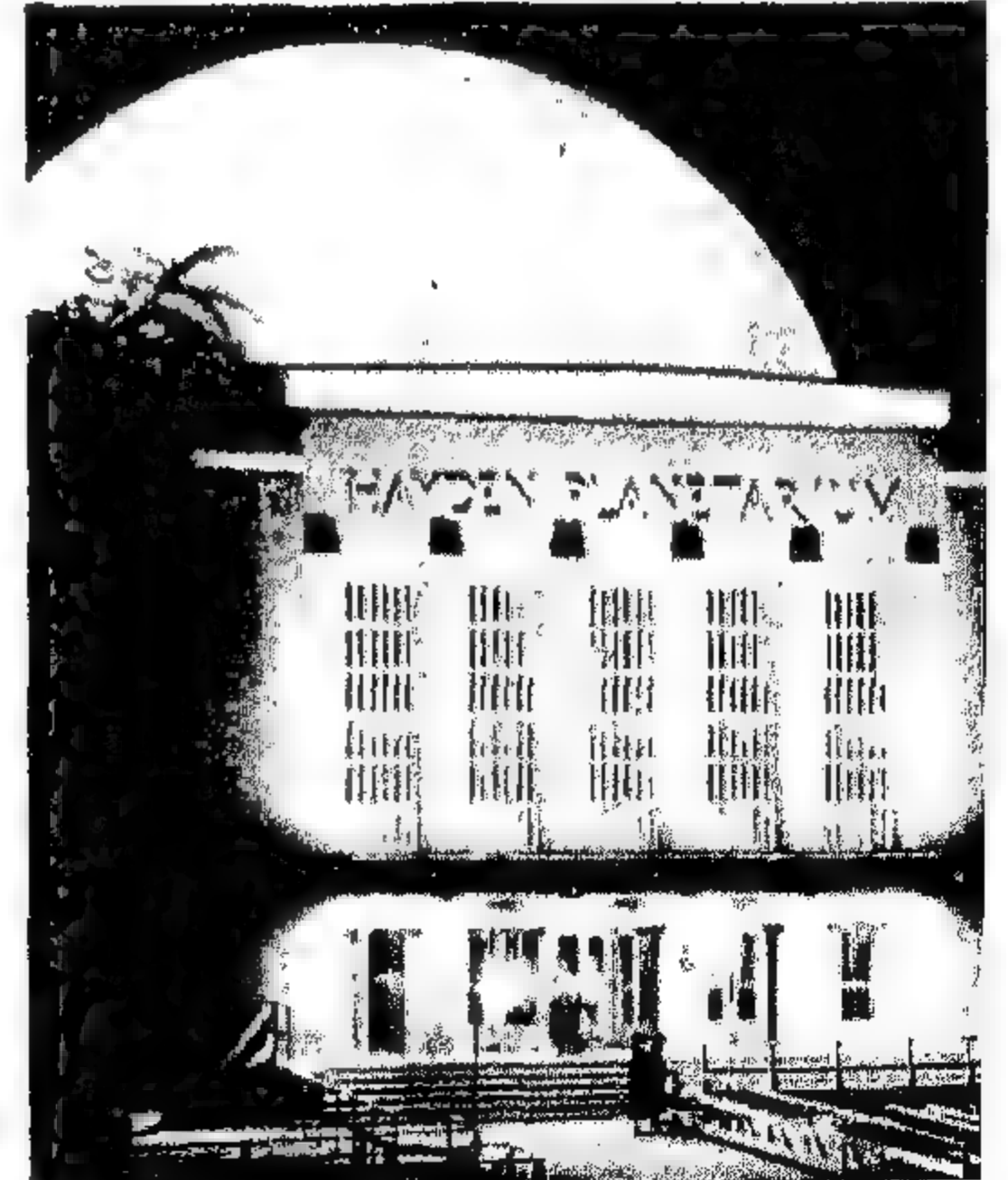
(شكل ١٩٩) مصانع شركة باد بفلاذلفيا
(بحر الباكيات الرئيسية ١٢٠ قدما) .

(شكل ٢٠٠) قبة المعرض الفلكى هايدن
بمدينة نيويورك سنة ١٩٣٥ .

شكل ١٩٩



شكل ٢٠٠



شكل ٢٠١



شكل ٢٠٢



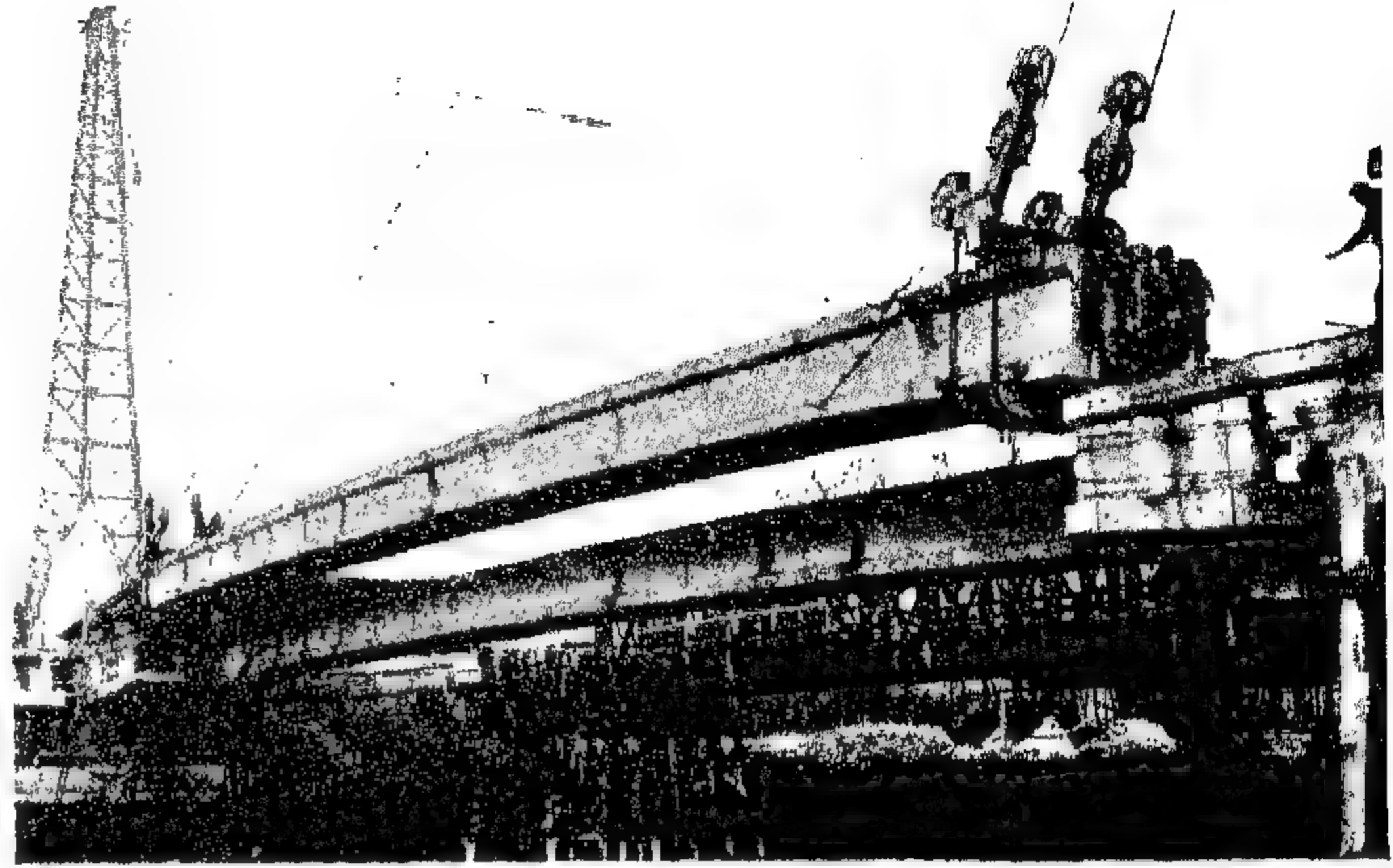
شكل ٢٠٣



الاستعمالات المبكرة للصدفات القشرية في أمريكا

- (شكل ٢٠١) حظيرة طائرات شركة
الخطوط الجوية العالمية والمكاتب الملحقة
بشيكاغو بولاية إلينوى ١٩٤٨ .
- (شكل ٢٠٢) حظيرة طائرات شركة
الخطوط الأمريكية والمكاتب الملحقة
بشيكاغو سنة ١٩٤٦ .
- (شكل ٢٠٣) حظيرة طائرات شركة
الخطوط الجوية العالمية في مطار أيدل وايلد
بمدينة نيويورك .

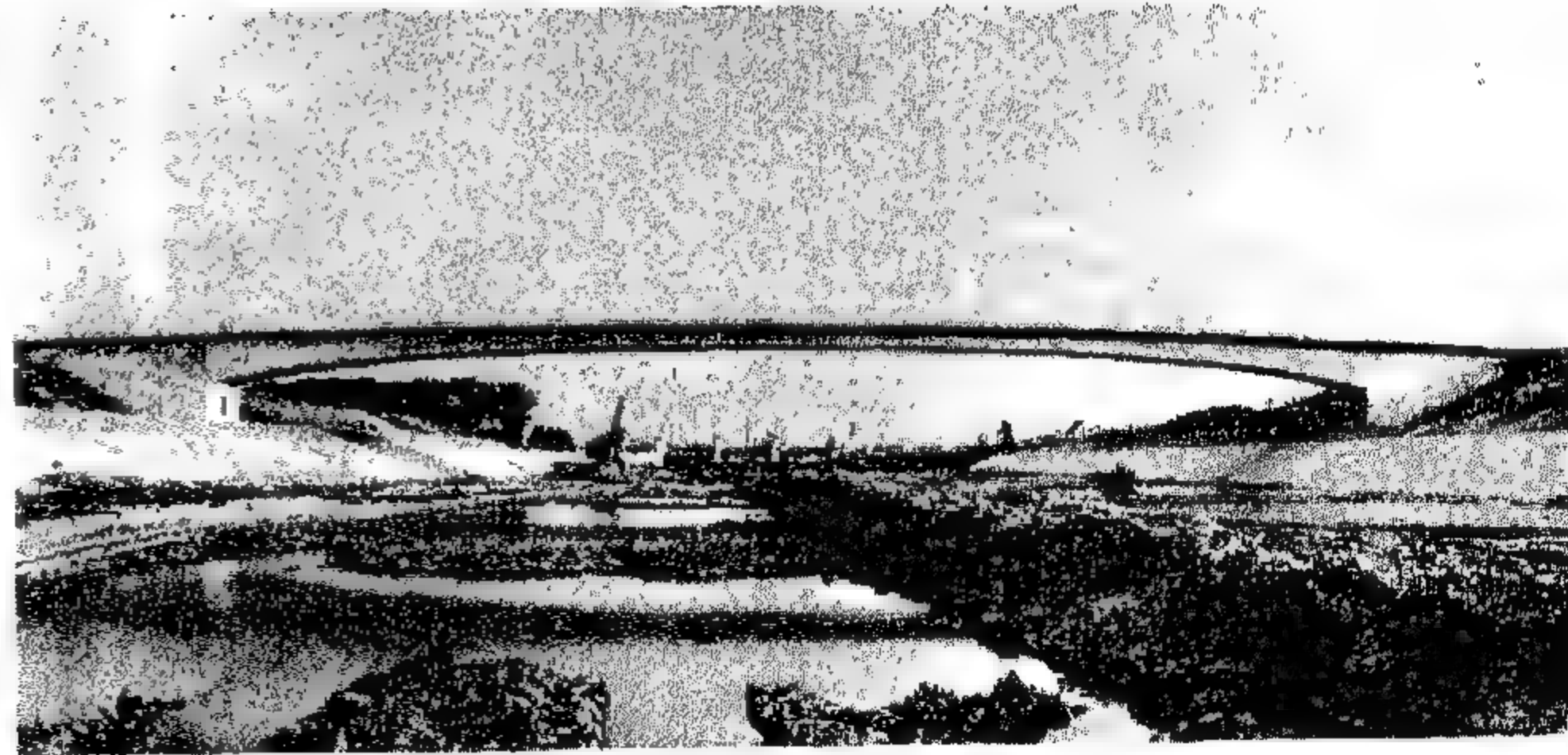
شكل ٢٠٤



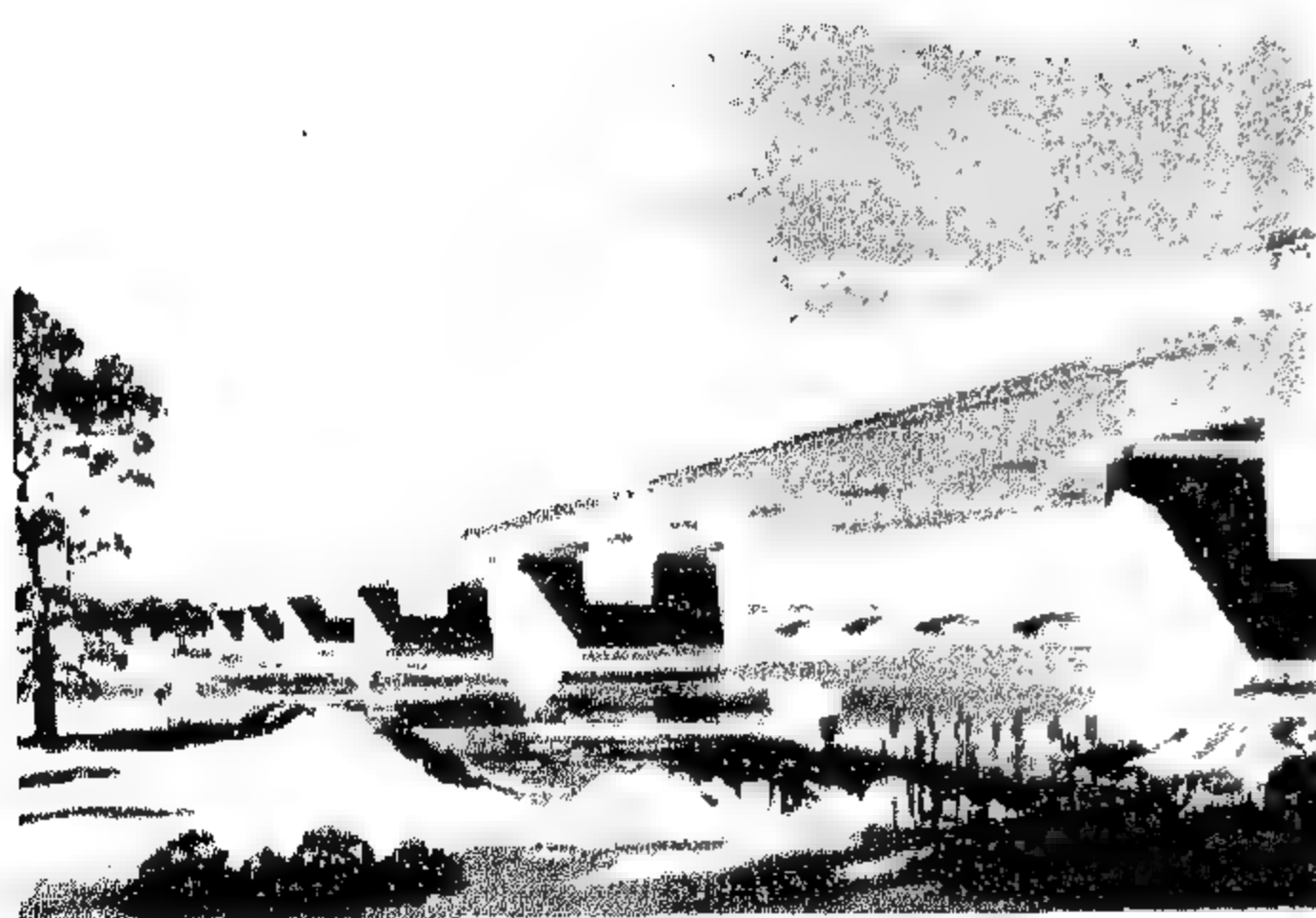
الحرسانة سابقة ولاحقة الإجهاد - الوحدات الخطية

(شكل ٢٠٤) كوبرى إسبى بفرنسا - طريقة فريسيئية.
 (شكل ٢٠٥) كوبرى على نهر نيكبار فى مدينة هاينلرون
 بألمانيا - طريقة دكتور ليون هارديت .
 (شكل ٢٠٦) مشروع كوبرى طريق الدستور فوق نهر
 البتومالك بمدينة واشنطن (١١ باكية كل منها ١٨٤
 قدما بإنشاء مستمر) .

شكل ٢٠٥



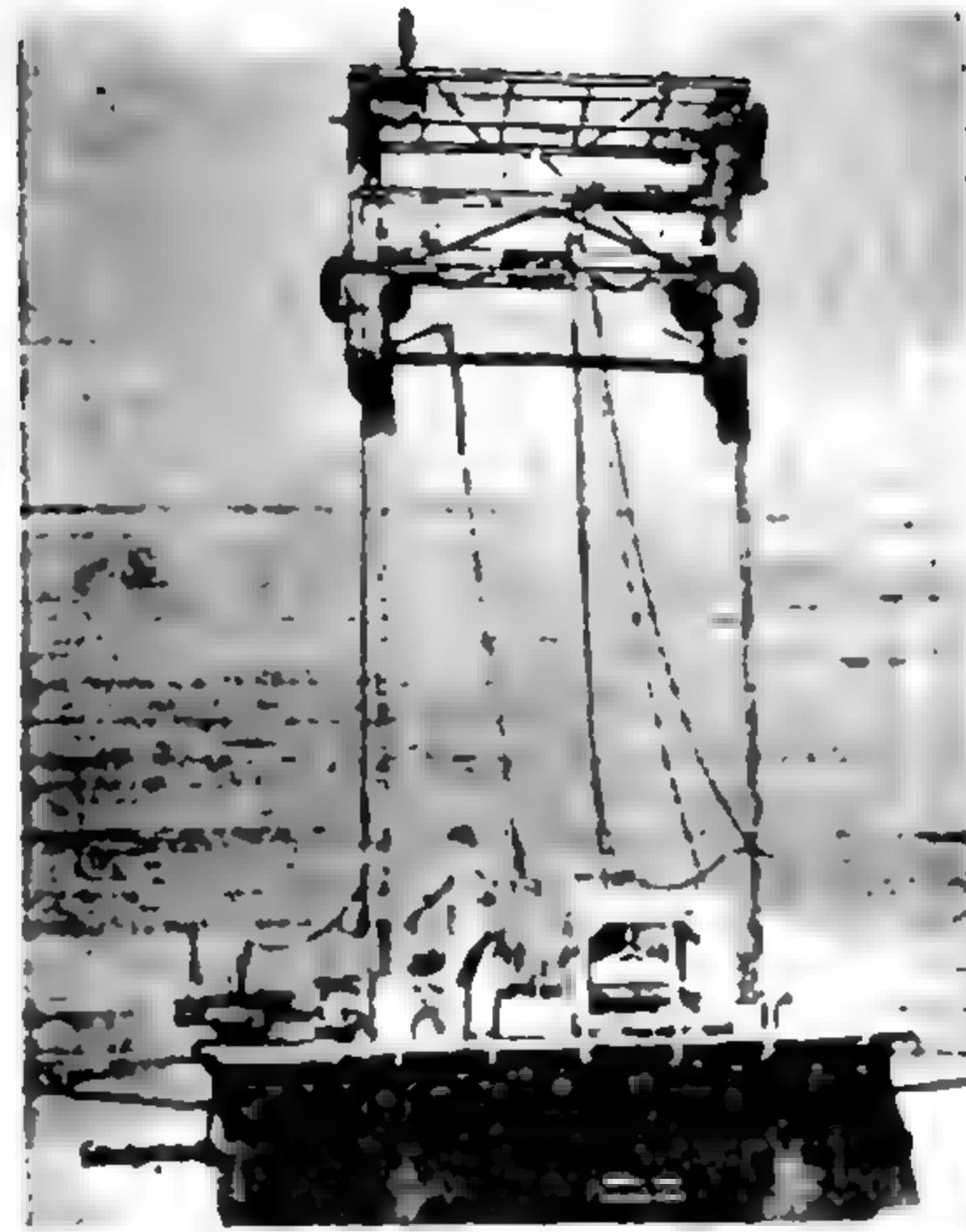
شكل ٢٠٦



شكل ٢٠٧



شكل ٢٠٨



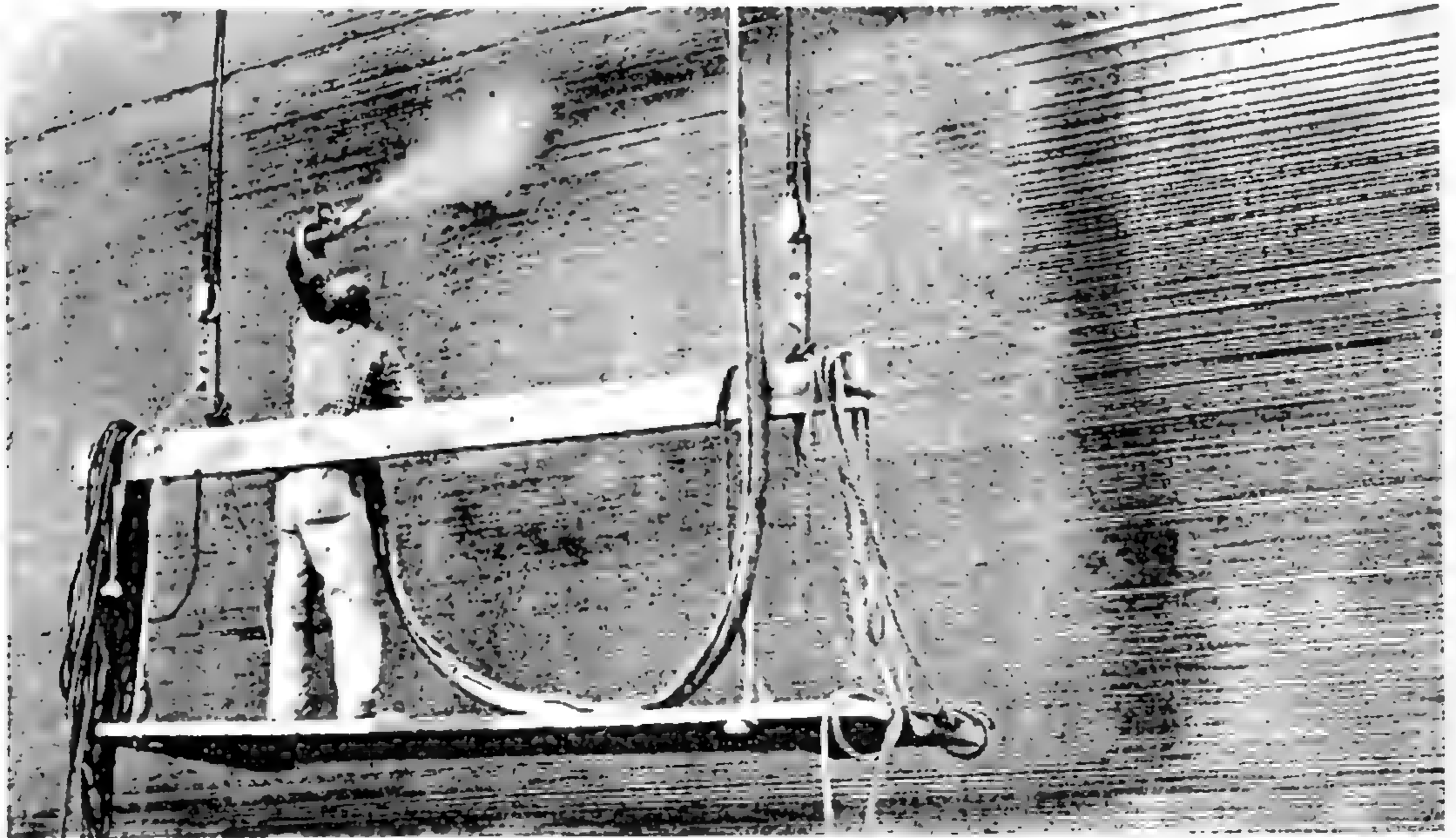
الحرسانية مابقة ولاحقة الإجهاد - الأسطح الدورانية الفعالة

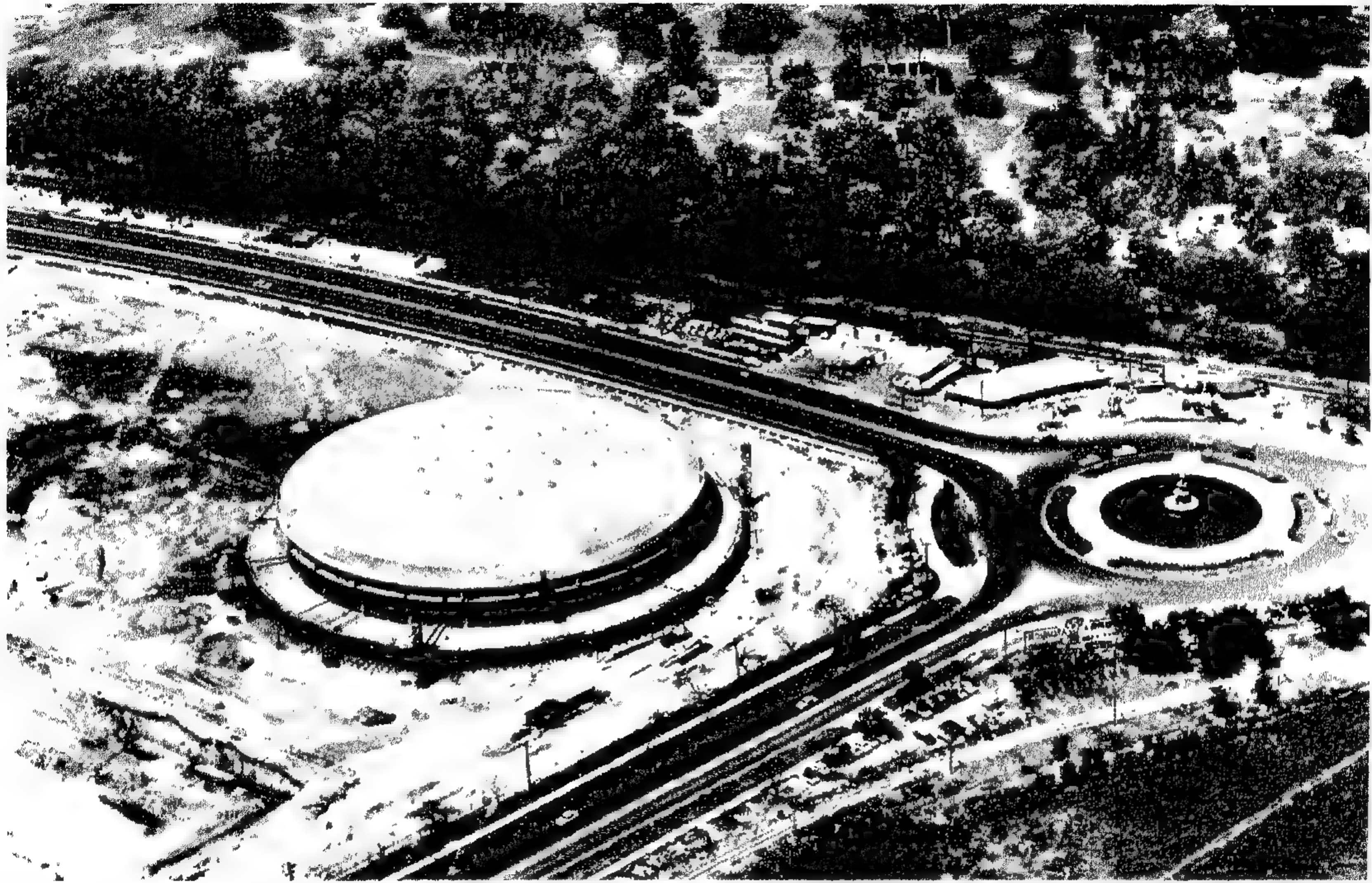
(شكل ٢٠٧) إقامة الصلبات
خزانات مياه في أمريكا بقطر
داخلي ٢٩٢ قدماً - طريقة شركة
بريلود .

(شكل ٢٠٨) الشد اللاحق الحوائط
الحرسانية للخزان من عربة متحركة
على المحيط .

(شكل ٢٠٩) تغطية حديد الإجهاد
الدائري بالمونة المنفذة من مسكن
خاص .

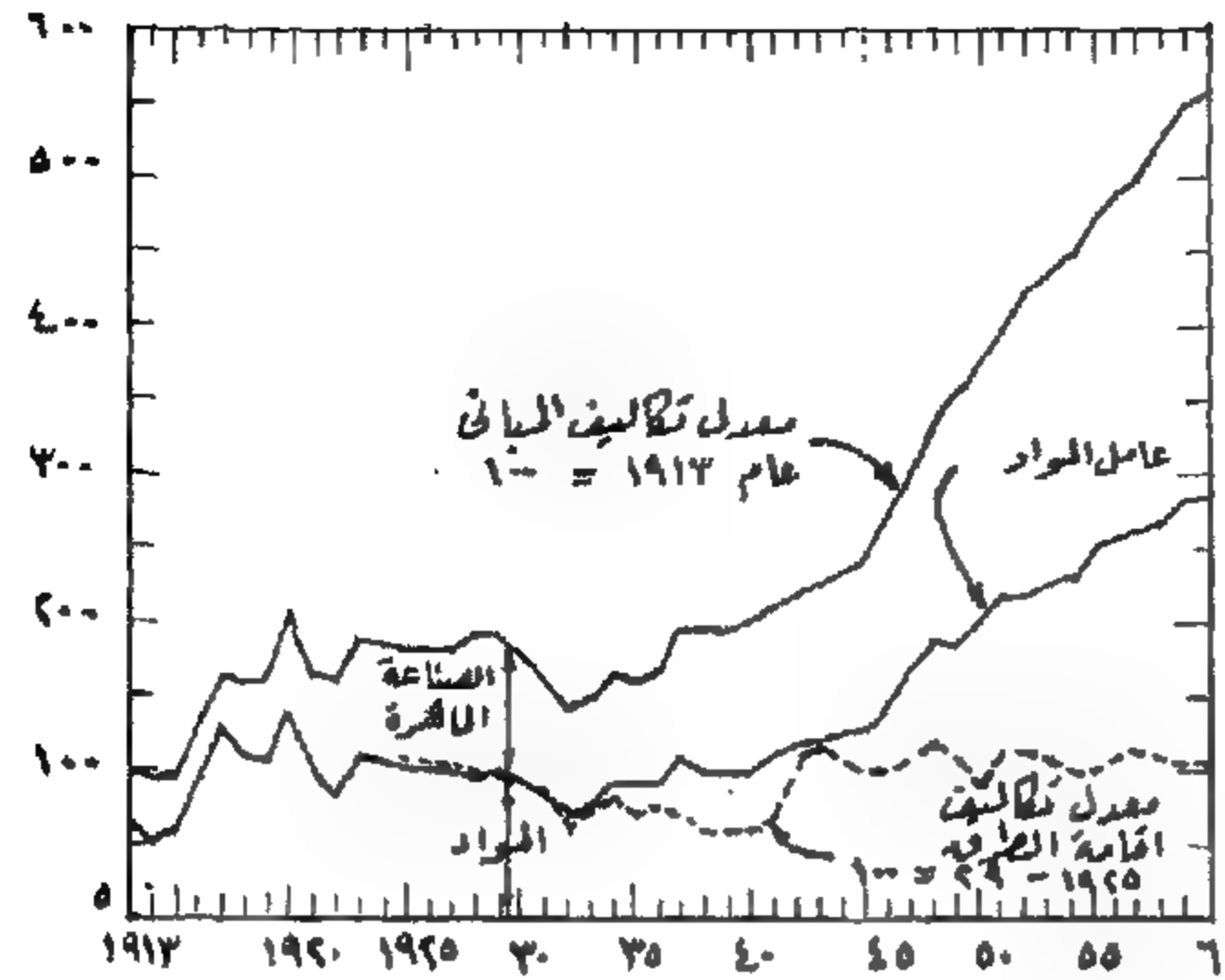
شكل ٢٠٩





الحرسانة سابقة ولا حقة الإجهاد - الأسطح الدورانية الفعالة

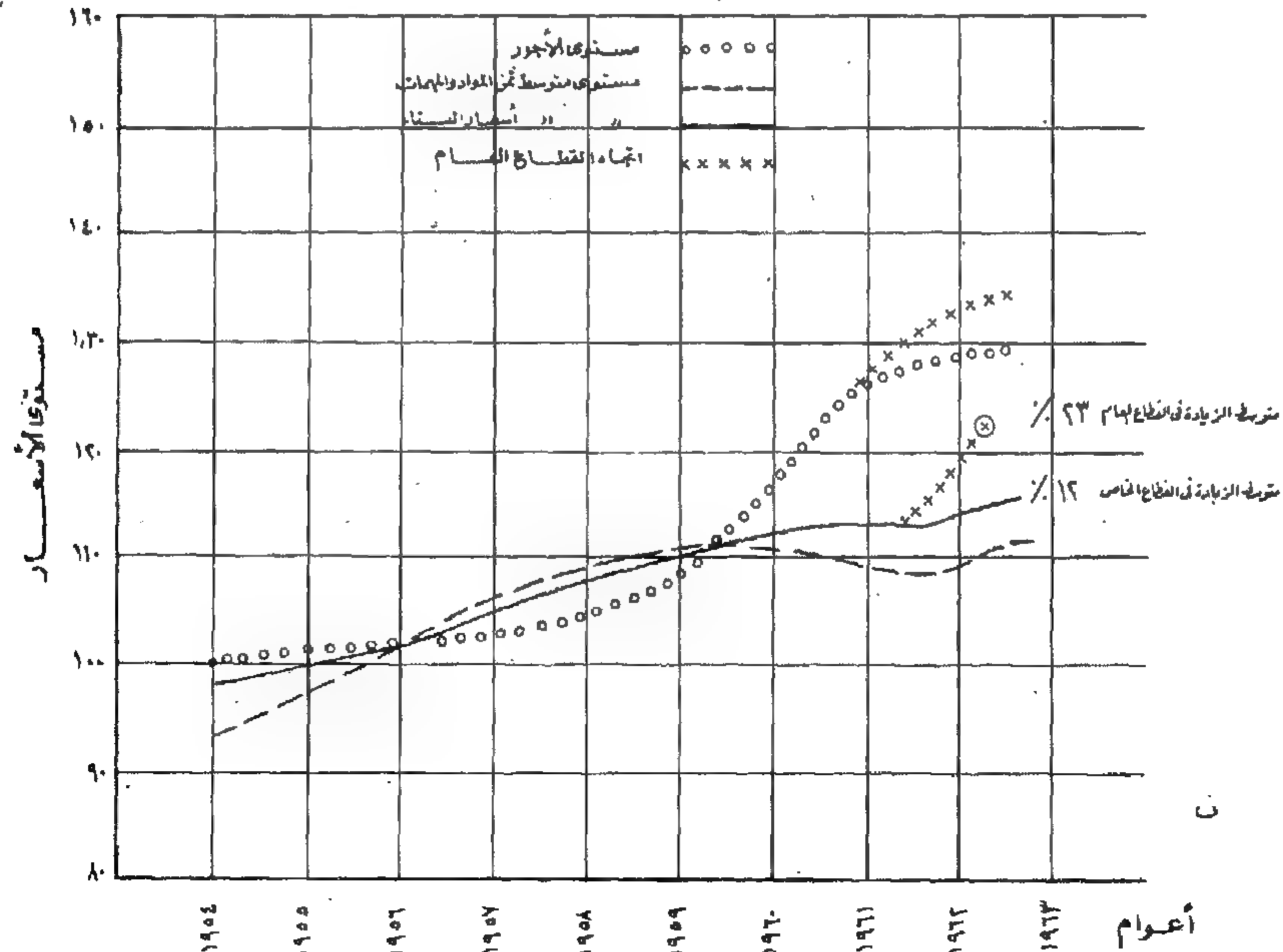
(شكل ٢١٠) القبة القشرية لصالة
الإستاد المقلدة في هافانا بكوبا
ذات حلقة الشد المحيطية سابقة
الإجهاد قطر الصالة ٢٩٤ قدماً -
عدد المقاعد ١٤,٥٠٠ مقعد
المهندسون المعماريون أريو وميننديز .



معدلات الزيادة في أسعار مواد البناء والعمالة في أمريكا والجمهورية العربية المتحدة

(شكل ٢١١ أ) معدل زيادة تكاليف البناء الأمريكية موضعاً
عامل العمالة والمواد وقد أخيفت تكاليف رصف الطرق .
(شكل ٢١١ ب) معدل الزيادة في الجمهورية العربية المتحدة في
في القطاعين العام والخاص .

شكل ٢١١



الجزء الثاني

الجزء
الثاني

عمارة
الخرسانة المسلحة



الخرسانة المسلحة والإنشاء

إن ما تتميز به الخرسانة المسلحة من صفات المرونة وتقبل التشكيل وتحمل الضغط والشد يجعلها مفتوحة أمام معظم التكوينات الإنشائية على درجات متفاوتة من الكفاية الإنشائية . المقصود بالكفاية الإنشائية هنا كفاية استغلال المادة إنشائياً ، وهذا لا يرتبط بالكفاية الاقتصادية^[١] النهائية في جميع الحالات حيث تتداخل في الأخيرة عدة عوامل اقتصادية محلية متغيرة بجانب الوفرة في المادة ، كإمكانات الإنشائية والعمالية ومدة التنفيذ ونحو ذلك . وهناك أنواع من التكوينات الإنشائية تستغل خواص الخرسانة المسلحة إلى أقصى حدودها بحيث تصل بها إلى كفايتها الإنشائية في حين تتجاهل تكوينات أخرى تلك الخواص ويكون استعمالها مقبولاً تحت ظروف الإمكانات العملية التنفيذية أو احتياجات الفراغ المعمارية .

ومن الناحية الإنشائية البحتة نجد أن الخرسانة بلدونتها وسهولة تشكيلها تفتح مجالات واسعة للتشكيل المناسب للكفاية الإنشائية ، وقد أصبح أمام المصمم بالخرسانة فرص أوسع لتحقيق أشكال وأوضاع معينة تضمن أحسن توزيع للجهود وأحسن استغلال للمادة الإنشائية . وهنا تكون قوة المنشأ نتيجة لشكله ووضعه الملائم بالنسبة للجهود ، بدلا من كتلته ومدى مقاومته عن طريقها للأحمال الحية والميتة المتضخمة* . ومن الواجب أن يكون هذا المبدأ هدف كل تصميم بالخرسانة المسلحة ، وهو الذي يحكم تكوين وتشكيل معظم الأغلفة العضوية في المملكة الحيوانية والنباتية** . كما أنه هدف من أهداف مصممي الإنتاج الصناعي المعاصرين***

في هذا الفصل سوف نستعرض التكوينات الإنشائية الممكنة والمستوحاة بالخرسانة المسلحة ، وسوف نتبعها في تسلسل نظري نحو ذروة الكفاية الإنشائية . هذا التسلسل يبدأ من أبسط التكوينات بالعمود والكمرات التي تعمل فيها كل وحدة بمفردها كوحدات انضغاط ، أو كوحدات معرضة لعزوم انحناء تعمل فيها الطبقات العليا والسفلى فقط إلى أقصى إمكاناتها في حين لا يتعرض باقي القطاع حول المحور

* الفرق هنا بين الاتجاهين كالفرق بين المصارعة اليابانية التي تعتمد على الأوضاع التي يتخذها المصارع بالنسبة لخصمه والمصارعة الرومانية التي تعتمد أساساً على قوة عضلات ووزن المصارعين .

** تحفظ أغلى وحدة في البقاء الحيواني على الأرض وهي الجنين (Embryo) في غلاف متماسك وهو البيضة . كما تحاط الثمار اللينة والحبوب بأغلفة صلبة كما في ثمار البندق وجوز الهند وعائلة البامبو وهذه لها أغلفة مستمرة تعطى صلابتها المعتادة .

*** التطور الصناعي في القرن العشرين اتجه بالعربة الأولى ذات التصميم الهيكل المجمع إلى عربة النوم ذات الهيكل الصلب المتكامل وفيه يلتحم السقف بقوة مع جميع الأجزاء الأخرى - كذلك نرى الإنشاء المتماسك المستمر في قاذفة القنابل المسكيتو وفي عربات السكك الحديدية الصلب . كما يتطور تصميم الأثاث إلى الإنشاء بالأسطح المستمرة الحاملة .

إلا لأخمال تمثل نسبة ضئيلة من هذه الإمكانيات . وبالاستمرار المادى الذى يوفر التماسك بين وحدات المنشأ تقل هذه العزوم لاشتراك جميع أجزاء المنشأ فى مقاومة الأحمال . ويتكامل الاستمرار الهندسى* تتكون منشآت مقفلة قادرة على حمل الأحمال الرأسية والأفقية ، وفيها تتحول عزوم الانحناء إلى إجهادات محورية بالشد أو الضغط تعمل جميع قطاعات المنشأ فى مقاومتها . وبالحرسانة المسلحة وإمكانياتها فى تكوين المسطحات الفعالة يتطور المنشأ لتحقيق الاستمرار المادى والهندسى فى اتجاهين بدلا من اتجاه واحد كما فى حالة الوحدات الخطية ، ومن ثم يتم توزيع الإجهادات بالتساوى على جميع أجزاء القطاع ويصل المنشأ إلى أفضل استغلال للمادة المستعملة .

وطبيعة الحرسانة المسلحة تجعل التماسك المادى صفة أصيلة فيها دون حاجة لربط أو لحامات أو أى تجهيزات أخرى . ومادة تقبل التشكيلات المختلفة يكون الاستمرار الهندسى سهلا ومتاحا ما دامت تسمح به احتياجات الفراغ المعمارية وإمكانيات التنفيذ التى تؤثر بالتالى على اقتصاديات المنشأ . ومع ذلك فما زالت ظروف التنفيذ ونوع الفراغات المطلوبة واقتصاديات المنشأ النهائية تستوجب تكوينات إنشائية تبدأ من الوحدات الخطية المنفصلة بالعمود والكمرات إلى الشكل الشرنقى الذى الاستمرار المطلق (Monocoque) . والإنسان فى تغليفه للفراغ منذ بدء الخليقة قد استعمل مواد إنشائية مختلفة فى حدود إمكانياتها وإمكانياته لتشكيلها ونقلها وتجميعها . فالحجارة المتباينة القوة فى الضغط المعدومة القوة فى الشد ، استعملها فى أنسب أوضاعها كحوائط وأعمدة وعقود . غير أنه استعملها ضخمة كبيرة الوزن والعمق ككمرات صغيرة البحور وأعمدة متلاصقة فى العمارة الفرعونية فجاءت تعبيراً عن طبيعة الحجر القوى فى الانضغاط الضعيف فى الشد . وعندما استعمل الخشب أو الحديد أو الصلب ككمرات أو جملونات اتسعت البحور وبعدت الأعمدة والحوائط .

إلى هنا والوحدات الإنشائية خطية (Linear elements) ، وهى بحكم طبيعتها كمرات ذات طول أكبر كثيراً من عمقها وعرضها (شكل ٢١٢) والحمل الواقع على كمرات ينتقل إلى الأعمدة خلال محور الكمرات سواء أكانت مستقيمة أم منحنية . وهذه تسمى وحدات إنشائية خطية وحيدة الأبعاد (One-Dimentional) . وبظهور الحرسانة المسلحة ازدادت إمكانيات تنفيذ الوحدات الإنشائية السطحية (Surface elements) (شكل ٢١٣) . وهذه يزيد طولها وعرضها كثيراً على عمقها ، وهى ذات إمكانية فى تحمل قوى الانضغاط والشد فى اتجاهين .

* الاستمرار الهندسى يتوفر لمنشأ إذا كان تغير اتجاهات المماسان على نقاط متتابعة عليه تدريجياً .

الفرق بين الوحدات الخطية والسطحية أن الأولى ذات تماسك واستمرار مادي في اتجاه واحد ، في حين أن التماسك والاستمرار المادي في الثانية ذواتجاهين .

الوحدات الخطية في هذه التكوينات تؤلف الهيكل الإنشائي ، وتضاف إليها فيما بعد المسطحات المغلفة كالبلاطات أو الحوائط كحشوات لاتسهم في تقوية المنشأ بأكمله ، بل على النقيض تكون في ذاتها أحمالا إضافية مية .

التكوينات بالوحدات الخطية :

Linear Structural Arrangement

العمود هنا وحدة رأسية مضغوطة بالكمرة - وهي تتعرض لقوى أفقية نتيجة لرياح ، ومقاومتها تتأق من كتلتها في حالة الأعمدة الحجرية ومن إمكانية لمقاومة الانحناء في حالة الخشب والحديد والحرسانة . ومن الواجب في هذه الحالة عمل وصلة بسيطة بين العمود والكمرة حتى لاترفع الرياح السقف . الكمرة الرئيسية في هذه الحالة معرضة لعزوم انحناء كبيرة وخاصة بالنسبة للبحور الواسعة مما يتطلب استعمال أعماق كبيرة للكمرة إلا في حالة استعمال سبق الإجهاد . والكمرة الرئيسية ليس بينها وبين الكمرة الفرعية والبلاطات والأعمدة أى استمرار مادي أو هندسي (أشكال من ٢١٤ إلى ٤١٦) وقد قدر البروفسور ماسور (E.F. Masur) من معهد الينوى للتكنولوجيا قوتها بأنها « على قدر من الكفاية مثل ما يتوافر في ثلاثة رجال يحملون بيانولوا أن كلا منهم تساق كتي زميله ورفع أعلاهم البيانو بمفرده »^(١) (شكل ٢٨) .

منشآت العمود والكمرة :

Post and Lintel Structures

والوحدات المستخدمة في مثل هذا النوع من التكوين هي وحدات سابقة التجهيز من البلاطات والكمرة الثانوية والرئيسية والروافد والبلوكات الحرسانية - غير أنه من الممكن إعطاء هذه الوحدات تماسكاً جزئياً عند التجميع . وهذا يتأق بالجمع بين سبق التجهيز والصب على الموقع (أشكال من ١٥٢ إلى ١٥٤) . وبوضع التسليح في التجاويف المستمرة للبلوكات الحرسانية وملئها بالحرسانة يمكن الوصول بالحوائط لدرجة من التماسك .

الإجهادات في العمود والكمرة تتغير أساساً إذا ما توافرت وصلة ثابتة ، أى إذا توافر الاستمرار المادي بينهما . وهنا يتكون الهيكل الخطى وهو أقوى من العمود والكمرة في تحمل القوى الرأسية والأفقية . وفي الهيكل التماسك (شكل ٢١٨) يتعرض العمود والكمرة للانحناء ويتولد فيهما عزوم انحناء . وهنا يكون للكمرة نهايتان ثابتتان وتعرض لعزوم انحناء أقل كما في حالة الكمرة المستمرة وتعرض بعض أجزاء الكمرة لإجهادات شد . أما الأعمدة فتعرض إلى إجهادات ضغط كبيرة وانحناء ، وتكون النتيجة غالباً تعرض قطاع العمود إلى إجهادات ضغط عامة على شكل شبه منحرف . والهيكل أقوى

الإنشاء الهيكلى :

Framed Construction

من الإنشاء بالعمود والكمرة في مقاومة القوى الأفقية كالرياح مثلاً . فبينما يقاوم العمود المواجه للرياح عزوم الانحناء بمفرده فإنه في الإنشاء الهيكلي يشترك مع الأعمدة المجاورة في مقاومة الأحمال حيث تتوزع قوة الرياح إلى الأعمدة الأخرى بواسطة الكمرة الأفقية .

ميزة الاستمرار المادي تتضاعف بتكرار باكيات الهياكل رأسياً وأفقياً (شكل ٢١٩ ، ٢٢٠) حيث تستمر هندسياً كمرة متاسكة مع عدة أعمدة . وتتحد جميع الباكيات مع جميع الأعمدة في مقاومة أي حمل رأسي أو أفقي يقع على إحدى الباكيات .

والاستمرار المادي على المستوى الخطي يمكن أن يتكامل إذا ما اتصت قواعد الهيكل بكمرة أفقية قوية ، وهنا يصبح المنشأ مقفلاً يستطيع أن يحمل أحمالاً رأسية وأفقية (شكل ٢٢١) . وتكرار مثل هذه الهياكل بكمرة مستمرة أعلى وأسفل الأعمدة يكون منشأ مقفلاً كجمالون فيرنديل يمكن استعماله لتغطية بحور كبيرة (شكل ٢٢٢) . هذا الجمالون يمكن اعتباره كمرة كبيرة بأضلاع شد وضغط أفقية وأعمدة رأسية لمقاومة قوى القص . ومع أن قوى الانحناء في الجمالون الفيرنديل أكبر منها في الجمالون ذي الوحدات المائلة إلا أن سهولة الوصلات في هذا النوع مع نخلو الباكيات من أي عوائق شجع استعمالها في الكبارى والمباني (شكل ٢٢٣) .

الهياكل الخطية ذات البحور الواسعة وذات الكمرة الأفقية تتعرض أعمدتها الرأسية لجهود انضغاط ، وكمراتها الأفقية لجهود انحناء . وفي هذه الحالة تكون الأعمدة رفيعة نسبياً والكمرة عميقة (شكل ٢٢٤ ، ٢٢٥) . مثل هذه الهياكل ترتفع كفايتها إذا ما كان ضلعها العلوي مثلاً (شكل ٢٢٦) . وهنا تنتقل الأحمال بمجموعة من إجهادات الانضغاط والانحناء في جميع أضلاع الهيكل . وبزيادة عدد أضلاع الهيكل تزداد إجهادات الضغط وتقل إجهادات الانحناء (شكل ٢٢٧) وبزيادة عدد الأضلاع المستقيمة يتحول الهيكل إلى عقد . ولكل حالة تحميل مضلع قوى خاص بها ، وكلما انطبق العقد على مضلع القوى تعرض العقد كله إلى إجهادات انضغاط ، وقلت إجهادات الانحناء (شكل ٢٢٨) . وعلى ذلك يكون من الأوفق اختيار شكل العقد الذي يقارب شكل مضلع القوى لأقصى أحمال مية . وأي أحمال أخرى ناتجة عن هبوب الرياح أو الثاوج تسبب إجهادات انحناء في العقود .

والاستمرار المادي والهندسي المتوافر في العقد يتوقف عند نقط ارتكازه على الأرض . وهنا تتولد قوى رأسية وأفقية يمكن مقاومتها عن طريق أرض صلبة . وفي حالة الأرض الضعيفة تقاوم الأحمال عن طريق

أساسات قوية أو قضبان أفقية رابطة بين طرفي العقد (Tie rods) (شكل ٢٢٩). والقوى الأفقية تتناسب طردياً مع الأحمال ومع مربع البحر وعكسياً مع ارتفاع العقد (شكل ٢٣٠). والعقود قد تكون لها ارتكازات ثابتة أو مفصلية. والارتكاز المفصلي يسمح بدوران أطراف العقد تحت الأحمال وتحت تغيرات درجات الحرارة، وهي ذات مرونة لا تسمح بتولد عزوم انحناء كبيرة. وقد تطورت المفصلات الخرسانية بواسطة المهندس الفرنسي ميسناجييه (Mesnagier) وهو أول من وضع الأسياخ متقاطعة لخلاق قطاع لا يتحمل عزوم انحناء. والعقود الثابتة بالخرسانة أكثر قوة من العقود المفصلية ومن ثم أكثر حساسية لإجهادات الحرارة والهبوط. ولتلافي هذه الإجهادات كلية يمكن إضافة مفصلة ثالثة في وسط العقد (Three Hinged arch). مثل هذه العقود حرة الحركة والهبوط بدون ظهور أي عزوم انحناء في جزئها (شكل ٢٣١)، وقد كانت شائعة الاستعمال في نهاية القرن التاسع عشر* ولكن استعمالها قل بزيادة المعرفة بتوزيع الإجهادات المختلفة في العقود الثابتة. والأخيرة أقوى من الأولى نظراً لزيادة قوة الدفع الأفقي للهيكل (شكلي ٢٣١، ٢٣٢).

وفي بعض الحالات تغطي الفراغات المستطيلة بكمرات أو عقود على محاور المستطيل** وفي هذه الحالة يوجد تماسك مادي بين العقود المتقاطعة أكثر مما يوجد في حالة العقود المتوازية المربوطة بكمرات منفصلة، كما تقل الحاجة إلى الكمرات الرابطة (شكل ٢٣٣). وقد يتطور هذا التوزيع إلى ما يسمى بالسقف اللاملا (Lamella roof) وهو عبارة عن مجموعة من العقود المتوازية المائلة على جوانب المسطح المغطى ومتقاطعة مع مجموعة أخرى من العقود المائلة (شكل ٢٣٤) بحيث يوجد تعاون وتماسك بين العقود جميعها. مثل هذه الطريقة تلغى الكمرات الرابطة كلية وتكون هياكل فراغية برميلية أو على شكل قباب تملأ فيها حشوات خفيفة سابقة الصنع الفراغ بين العقود المتقاطعة.

بالضلوع الخطية السابقة الصب أو المصبوبة على الموقع يمكن الوصول إلى تكوينات خطية دورانية راسمة للفراغات الكروية أو النصف كروية. والضلوع هنا قد تكون مركزية وحلقية*** (شكل ٢٣٥)، وقد تضاف مجموعة من الضلوع المارة بتقاطعات الضلوع السابقة فيما تعرف بقباب شويدلر (Schwedeler)

* أهم استعمال لها في القرن التاسع عشر صالة الماكينات بمعرض باريس الدول عام ١٨٨٩.

** من هذه الاستعمالات العقود فوق نقط تقابل جناحي الكنائس القوطية.

*** اتبع مثل هذا التكوين في قبة جامع صوفيا باستانبول باستعمال ٤٠ عصباً متقابلة عند القمة وحشوات من مادة خفيفة كالطوب المفرغ أو خرسانة حجر الجفاف.

(شكل ٢٣٦) : وقد تتكون القباب الهيكلية من ثلاث مجموعات من الضلوع المتوازية المكونة لمثلثات متساوية الأضلاع فيما يعرف بالقباب الجيوديسية (Geodesic) (شكل ٢٣٧) . كما يمكن أن تتكون بالضلوع الخطية أشكال دورانية كإكليل الصباح (Morning Glory) (شكل ٢٣٨) والقبوات الحلقية (Annular Vaults) .

وفي كل الحالات السابقة يجب ملاحظة أن مسطح الإنشاء يكون نسبة ضئيلة من المسطح الخارجي للغلاف . أما باقي المسطح فتملؤه الحوائط والبلاطات . وهذه تصلها بالهيكل الجاذبية الأرضية أو أى وسائل رابطة تساعد على حفظها في مكانها في حالة هبوب الرياح أو أى عوامل أخرى غير مرئية . أى إن الحالة ما زالت كما وصفها بروفيسور ماسور . . . ثلاثة حمالين يحمل أحدهم الآخر ، إلا أن الحمالين الأول والثاني أصبحا وحدة فعالة واحدة تحمل الثالث الذي ينقل إليها الحمل الحى مضاف إليه حملة الميث .

في السقف المكون من شبكة متعامدة من الكمرات المتماصة في نقط تقابلها ينتج عن الأحمال الموضوعة على كمر من الكمرات والمسببة لمبوطها حركة التواء في الكمرات المتعامدة ، أى إن الهبوط الناتج عن عزوم الانحناء في اتجاه يسبب دوراناً التوائياً (Twisting rotation) على كمرات الاتجاه الآخر . ومن ثم فإن الاستمرار المادى بين الكمرات المتعامدة يسبب اشتراك الكمرات في الاتجاهين في مقاومة الأحمال بدلاً من مقاومة الأحمال عن طريقة كمر واحد في اتجاه واحد . مثل هذه الكفاية تنعكس على نسبة أقل للعمق بالنسبة للبحر (قد تصل النسبة من ١-٣٠ إلى ١-٤٠) . ومن هنا يمكن أن نتصور مدى قوة الأسطح الإنشائية الفعالة التى هى عبارة عن شرائط متعامدة تعمل في اتجاهين عند كل نقطة فيها .

التكوينات بالأسطح الإنشائية الفعالة :
Surface-resistant Structural Forms

البلاطة الخرسانية سطح متماسك ذو عمق صغير ، وأى شريط من البلاطة مواز لضلع من المسطح يمكن اعتباره كمر تعمل في اتجاه واحد ، وأى شريط متعامد على الشريط الأول يمكن اعتباره كمر متماسكة مع الأولى ، أى إن الانحناء في الأول يولد التواء في الثانى . والبلاطة تعمل كمجموعة من الشرائط ملحومة الواحدة في الأخرى تهبط وتلتوى في أى نقطة . والهبوط يكون لإجهادات انحناء وقص في جهتين . أما اللى فيكون لإجهادات قص التوائى (Torsional shear) (شكل ٢٣٩) . وإمكانية التحميل نتيجة لمقاومة اللى هى التى تميز البلاطة عن الكمرات حيث إن الكمرات ، المتعامدة المتماصة لا يمكنها تكوين

الأسطح المستوية : (Planar Structures)

لى موزع . والتواء البلاطة مسئول عن نسبة كبيرة من إمكانياتها فى التحميل . فمثلا فى بلاطة مربعة محملة على جوانبها الأربع يكون حمل اللي ٥٠ ٪ من إمكانية البلاطة فى نقلها للأحمال للركائز . ومع ذلك فما زالت هذه البلاطات معرضة لعزوم الانحناء ، وهذه تترك أجزاء كبيرة من قطاعاتها غير مستغلة إلى أقصى إمكانياتها .

وبلاطات السابقة يمكن أن تحمل على أعمدة والاتصال بين العمود والبلاطة يولد إجهادات قص (Punching shear) ، وهذه قد تتطلب رؤوساً مشرومية للأعمدة (شكل ٢٤٠) ، أو بلاطات متوسطة للتوزيع (شكل ٢٤١) . ويمكن تلافى الرؤوس والبلاطات باستعمال وصلات قص من الصلب لضمان انتقال الأحمال من العمود إلى البلاطة الخرسانية . واستعمال البلاطة مباشرة على الأعمدة يسهل عمل الشدات ويلغى انحناءات المواسير والأنابيب حول الكمرات الساقطة .

وتبقى طبيعة الإنشاء الخطى باستخدام الأعمدة لحمل البلاطات المسطحة ، وعندئذ تصبح الحوائط المحصورة بينها أحمالاً مئة لا تساهم فى زيادة الكفاية الإنشائية . وقد تستبدل بالأعمدة بلاطات خرسانية رأسية تعمل عمل القاطوع الفاصل والدعامة الإنشائية معاً . وهى أقل تعرضاً للانبعاج من الأعمدة المستقيمة بسبب ميل أجزائها المختلفة للانبعاج فى اتجاهات مضادة .

وباستعمال الخرسانة المسلحة يسهل الحصول على الاستمرار المادى بين الحوائط والبلاطات المسطحة فيكونان معاً هياكل إنشائية صندوقية تسهم أجزاؤها فى زيادة متانة المجموع (شكل ٢٤٢) . وهذا تكوين بالأسطح يناظر التكوين الهيكلى بالخطوط ، ويسمى بإنشاء « الحوائط المتقاطعة (Gross Walls) . وتسهم تقوية هذه الحوائط فى اتجاهات عمودية عليها فى مقاومة الانبعاج وبالتالي تقليل من سمكها . وقد ابتكر المعمارىان أولجى وأولجى (Olgyay & Olgyay) والمهندس بيلا كيس (Bella Kiss) من المجر نوعاً آخر من الحوائط الحاملة المبنية بالخرسانة المسلحة ويسمى بإنشاء الخلايا (Cellular Construction) وفيه تكون القواطع الداخلية المتقطعة بأشكالها المختلفة ركائز مستمرة بالأدوار ذات نسبة متانة عالية فى الجهتين^(٢) . وتضاف مقويات أفقية على طول الامتداد الرأسى للحوائط كلما أمكن ذلك (شكل ٢٤٣) .

ولأغراض التسقيف يمكن اعتبار البلاطة الرأسية كمرّة عميقة ، غير أنها تحتاج إلى سمك كاف لمقاومة الانحناء العرضى (Flexural Rigidity) فى حين أن البلاطة الأفقية لها عزم مقاومة للانحناء أقل منها بكثير . وبين هذا وذلك تقع البلاطات المتكسرة (Folded Slabs) من مسطحات مائلة متماسكة مكونة لسقف

بذى سمك تصميمى يساوى عمق الكمرات (شكل ٢٤٤ ، ٢٤٥) . وفى حالة تحميلها على هياكل طرفية ثابتة فإن التحميل العرضى بواسطة الكسرات يكون ثابتاً عند الهياكل ومرناً فى وسط البحر . والشرائط العرضية سواء المرنة منها أو الثابتة تولد ردود فعل فى الكسرات وهذه تحلل إلى قوى فى نفس مستوى البلاطات . هذه القوى الطولية تنتقل إلى الهياكل الجانبية بواسطة البلاطات التى تعمل ككمرات مستطيلة عميقة . وهكذا ينتقل الحمل إلى البلاطات عن طريق كمرات متكسرة عرضية ذات عمق يساوى سمك البلاطة وإلى الهياكل الطرفية عن طريق كمرات طولية بعمق يساوى عمق الكسرة . والكسرات بالباقيات الطرفية ذات وضع خاص حيث إنها تحتاج إلى تثبيت جانبيها الخارجى بواسطة كمرات عميقة طرفية تعادل عدم وجود تثبيت جانبي للصلع الخارجى .

وبالبلاطات المتكسرة تأخذ أشكالاً مختلفة منها المثلثة (شكل ٢٤٥) أو السنامية (Hipped) (شكل ٢٤٦) أو متعددة الكسرات (شكل ٢٤٧) . ويمكن أن يطبق هذا الاتجاه على مساقط ذات أشكال أخرى بخلاف المستطيلة كالأشكال متعددة الأضلاع والمثلثة والدائرية (شكل ٢٤٨) . وفى هذه الحالة يرتفع السقف عند المركز حيث يتضاءل ارتفاع الكسرات . وكل وحدة مركزية تعمل كجمالون أو عقد مكونة طرذاً بخارجياً تعادله أرض ضلعية أو أعمدة ذات حلقة شد دائرية .

البلاطات السابق بحثها مسطحات ذات سمك كاف يغلها مقاومة للانحناء ، ومن ثم فهي تقاوم الأحمال عن طريق إجهادات انحناء وإجهادات قص والتواء فى الاتجاهين . وفى حالة البلاطات الغشائية (Membranes) تنعدم فيها ، نتيجة لسمكها الرفيع ، أى مقاومة للانحناء ومن ثم تخفى إجهادات الانحناء متحولة إلى إجهادات شد ، وهذه توزع بانتظام على قطاع البلاطة الغشائية كله الذى يعمل بكامل إمكانياته وبأقصى كفاية إنشائية . تخيل قوة قطعة من القماش أو البلاستيك الرقيق المشدودة من جوانبها فى تحملها لأوزان ضخمة موزعة على مسطحها وذلك نتيجة لتحول الأحمال على قطاعها المزدوج الانحناء إلى أحمال شد وإلى إجهادات قص فى نفس مستواها على شرط ألا تنبعج قطعة القماش نتيجة للانضغاط المحورى الناتج عن هذا القص . والشد السابق (Prestressed membranes) يسبب تعادلاً لهذا الضغط المحورى ، والأغشية عامة غير مهيأة بحكم رقتها لتحمل أى إجهادات انضغاط مما يحد من استعمالها . وبقلب الغشاء المرخم تحت أحمال معينة مع الاحتفاظ بنفس الأحمال ينتج شكل إنشائى يولد إجهادات انضغاط فقط . هذا الشكل ، إذا ما نفذ من مادة متماسكة تتحمل الضغط والشد ، يسمى بالصدفة القشرية (Thin shell) ، وفيها يتلافى كل عيوب الأغشية مع الاحتفاظ بأغلب مميزاتها . هذه الصدقات

الصدقات القشرية المنحنية :
Curved Thin Shells.

رفيعة بحيث تعجز عن خلق أى إجهادات انحناء ، ولكن بسمك كاف بحيث تقاوم الأحمال الواقعة عليها بإجهادات انضغاط وقص وشد ، وكفايتها ترجع إلى انحناءاتها ومقاومتها للالتواء . الانحناءات تجسيم للاستمرار الهندسى على مستويات مختلفة ، ومقاومة الالتواء ناتجة عن الاستمرار المادى لمادة تتحمل الضغط والشد . والانحناءات قد تكون مفردة (Single Curvature) وهذه تظهر خطاً مستقيماً بقطعها على محورها وأقصى انحناء بالنسبة للمستوى القاطع العمودى . وقد تكون مزدوجة (Double curvature) وهذه تظهر منحنياً بقطعها على محورها ومنحنياً آخر بالنسبة للمستوى العمودى .

وحدات مفردة الانحناء

أبسط أشكال الصدقات مفردة الانحناء هى الصدقات الأسطوانية وهى تستعمل لتغطية المساحات المستطيلة (شكل ٢٤٩) . وهى تحمل فى الغالب على هياكل نهائية (End frames) ثابتة فى مستواها ومرنة فى المستوى العمودى عليها ، وعملها يمكن اعتباره ككمرة فى الاتجاه العرضى . وطبيعة عمل هذه القباب يتوقف على نسبة طولها فى اتجاه محورها إلى عرضها فى الاتجاه العمودى على المحور . فالأسطوانات الطويلة (Long Barrels) وهذه تكون بحورها فى اتجاه محورها من ضعف إلى ثلاثة أضعاف أقطارها أو أكثر (شكلى ٢٥٠ و ٢٥١) . وفيها تتولد إجهادات غشائية مماثلة لما يتولد فى كمرة والصدقة القشرية تكتسب قوتها من انحنائها ويمكن النظر إلى الأسطوانة ككمرة ذات قطاع منحن . وتتوزع الإجهادات الطولية خطياً خلال عمق الأسطوانة بحيث تقاوم الأجزاء العليا لإجهادات الانضغاط والسفلى لإجهادات الشد . وعند تحميل مثل هذه الأسطوانات تتجه أطرافها العرضية إلى الانحناء الداخلى معلنة اختفاء الرفص الجانبي المصاحب للإنشاء بالعقود .

وكلما قصرت بحور الأسطوانات بالنسبة لعروضها ازداد وضوح تغير أشكال قطاعها بتحميلها . كما تتغير الإجهادات الطولية من توزيع خطى للانضغاط العلوى والشد السفلى إلى توزيع منحنى لشد علوى وسفلى وانضغاط أوسط (شكل ٢٥٢) . ويرجع توزيع الإجهادات إلى وضعه الخطى الأول إذا أضيفت مقويات وسطى أو بالاستمرار المادى مع باكيات أخرى . وكلما ازداد قصر الأسطوانات تحولت الإجهادات إلى انضغاط عرضى فى اتجاه العقد .

ويمكن النظر إلى الأسطوانة القشرية القصيرة كعقود وسطى محملة على طرفى الصدقة اللذين يعملان ككمرات طولية بين الهياكل والصدقة ، كما تسبب إجهادات الانضغاط بالعقود انكماشاً فى الاتجاه العرضى للصدقة تنتج عنه إجهادات انحناء عند الهياكل حيث إن الأخيرة ثابتة فى مستواها ، فى حين أن الصدقة مرنة بعيداً عن نقطة التثبيت عند الهياكل (شكل ٢٥٣) . كما توجد إجهادات محلية

عند نهايات الاستمرار الهندسى والمادى فى أطراف الصدقات أو عند الفتحات حيث يتطلب الاتزان عمل هياكل أو حلقات ثابتة تتجمع حولها لإجهادات الانحناء داخل الصدقات المستمرة ، وهذه يمكن مجابقتها فى جميع حالاتها بزيادة محلية فى سمك الصدفه . هذه الإجهادات فى حالة الأسطوانات القصيرة تحتل جزءاً كبيراً نسبياً من طول الأسطوانة ، فى حين أنها تكون صغيرة بالنسبة للأسطوانات الطويلة .

والصدقات الأسطوانية أقل متانة من الصدقات المزدوجة الانحناء حيث إن انحناءها المفرد يعرضها للتحميل ككميرات . وكلما كان هناك داع لزيادة متانتها مع الاحتفاظ بشكلها تضاف كميرات طولية على أطرافها . وهذه توجه لإجهادات الشد السفلى إلى الكميرات الطرفية تاركة الصدفه نفسها لمقاومة إجهادات الانضغاط . والكميرات الطرفية تمتص كذلك إجهادات القص الطولية المتولدة عند طرفى الصدفه الأسطوانية . ومع قوة الصدقات الأسطوانية ضد الانبعاج فى مناطق الانضغاط فقد يلجأ المصمم إلى زيادة سمك الصدفه أكثر من الاحتياجات الغشائية، وهذا قد يزيد تعرضها لإجهادات الانحناء . وهنا قد يلجأ المصمم إلى إضافة ضلوع عرضية برغم ما فى ذلك من زيادة فى تكاليف الشدة .

صدقات قشرية مزدوجة الانحناء

التكوينات السابقة الأسطوانية تتكون هندسياً من حركة مستقيم على منحنيين رأسيين متشابهين فى مستويين متوازيين . وقد يختلف الطرفان من ناحية الارتفاع والشكل فيتكون عن ذلك شكل مخروطى (Conoidal Surface) (شكل ٢٥٤) . وقد يتحول أحد المنحنيين إلى خط مستقيم فيكون ما يسمى بالكونويد (Conoid) (شكل ٢٥٥) والتكوين الأخير قد يكون دائرياً أو على شكل قطع مكافئ أو قطع ناقص وهذا يتوقف على شكل المنحنى الطرفى . والكونويد ممكن اعتباره صدفه مزدوجة الانحناء إذا ما نظرنا إلى محاوره الموصلة لأعلى نقطة على المنحنى بطرفى الخط المستقيم وهى تكون منحنيات تتجه إلى أعلى ، فى حين أن المحاور الموصلة بين منتصف الخط المستقيم وطرفى المنحنى تكون منحنيات تتجه إلى أسفل . هذه الأسطوانات أو الأشكال المخروطية بأنواعها المختلفة قد تكون محاورها أفقية أو رأسية ، وفى الحالة الأخيرة تخدم الأسطح القشرية كحوائط رأسية أو مائلة (من شكل ٢٥٨ إلى ٢٥٨) .

التكوينات الإنشائية السابق بحثها ليست مغفلة للفراغ . فما زالت هناك أجزاء من الغلاف غير حاملة . وهذه يجب تغليفها بأسطح غير مستمرة هندسياً ومادياً مع المنشأ الحامل . كما أن أطراف مثل هذه الوحدات الإنشائية تكون مسطحات تتركز فيها إجهادات الشد والقص مما يجعل من الضرورى تقويتها بكميرات لتعويض عدم الاستمرار فى المادة .

وبازدواج الانحناء يزداد المنشأ متانة وخاصة إذا كان أحد الانحناءين مستمراً هندسياً ومادياً على شكل دائرة كما هو الشأن في الصدقات الدورانية . وبازدواج الانحناء يقترب المنشأ من الاستمرار الهندسي والمادى في اتجاهين بدلاً من اتجاه واحد، كما يصبح المنشأ في أقصى حالاته مقفلاً ويصبح محور المنشأ مضاعفاً للقوى في جميع حالات التحميل . وبذلك تتحول جميع الإجهادات إلى إجهادات انضغاط أو شد وتلغى إجهادات الانحناء كلية .

وهناك أنواع كثيرة من الصدقات المزدوجة الانحناء ، وذلك بالنسبة لطريقة تكوينها في الفراغ وأنواع المنحنيات التي تكونها . ومن الممكن تقسيمها إلى نوعين رئيسيين بحسب علامات المنحنيات المكونة لها . وقد اصطلح على تسمية المنحنيات المتجهة إلى أسفل منحنيات ذات علامة إيجابية والمتجهة إلى أعلى سلبية .

والصدقات مزدوجة الانحناء قد تكون ذات منحنيين بعلامات مختلفة وهذه قد تكون صدقات انتقالية (Translational shells) ومنها الصدقات ذات القطع الزائدى المكافئ (Hyperbolic Paraboloid) (شكلى ٢٥٩ ، ٢٦٠) وهى تتكون من حركة قطع مكافئ إيجابى الاتجاه على آخر سلبى الاتجاه ، وقطاعه الأفقى منحنيين منفصلين لقطع زائدى (Hyperbola) . هذا الشكل يتكون أيضاً من حركة خط مستقيم بنهائيتين مركبتين على مستقيمين ليسا في مستوى واحد في الفراغ . وتنفيذ هذا الشكل في الخرسانة المسلحة على درجة عالية من البساطة حيث إن شداته تتكون من مجموعة من الألواح المستقيمة في اتجاه الخطوط الراسمة (Generators) . ومن الممكن تكوين أسقف من مجاميع من قطاعات زائدية مكافئة ذات محيط مربع أو مستطيل وذلك من وحدات ذات أربعة أركان أحدها أعلى أو أسفل من مستوى الأركان الثلاثة الأخرى (شكل ٢٦١) . مثل هذه الوحدات يمكن تجميعها بحيث تعطى شكل مظلة (Umbrella) تتركز على عمود في نقطة سفلى (شكل ٢٦٢) أو عليا مركزية (شكل ٢٦٣) .

ويتوقف تصرف الإجهادات في القطع الزائدى المكافئ على طريقة تحميله . فهو إذا حمل على عقدتين مكافئتين في نهايته فإنه ينقل الإجهادات إلى الركائز عن طريق القص وعمله في هذا مشابه للأسطوانة المحمولة على عقدتين إلا أنه أمتن من ناحية الانبعاج في الاتجاه الطولى . فالصدقة إذا ما انبعجت فإن القطع المكافئ ذا الانحناء الإيجابى يتجه إلى الاستواء ، وهذا تقاومه المنحنيات العمودية السلبية حيث إن إجهادات الانضغاط تعادل إجهادات الشد فيها . وإذا ما حمل القطع الزائدى المكافئ على خطوطه الراسمة تكون اتجاهات الإجهادات الرئيسية هي اتجاهات المنحنيات . وهذه

عبارة عن إجهادات شد في المنحنيات السلبية وانضغاط في المنحنيات الإيجابية مكونة لإجهادات قص على هياكل التحميل . وهذه الإجهادات تتحول إلى إجهادات بالشد أو الضغط فيما عدا تأثير الحمل الميت للهياكل ذاتها . والإجهادات الغشائية في جسم الصدفة لها نفس القيمة في جميع أجزائها ، ولهذا يقال إن الشكل الزائدى المكافئ ذو كفاية كلية ١٠٠ ٪ حيث إن أى نقطة في قطاع الصدفة تتعرض لنفس الإجهادات . وهذه الإجهادات الغشائية تتناسب طردياً مع الأحمال وعكسياً مع ارتفاع الصدفة وسمكها . وارتفاع الصدفة يجب ألا يقل عن $\frac{1}{4}$ إلى $\frac{1}{6}$ البحر لتلافى زيادة إجهادات الانضغاط حتى لا تتعرض الصدفة للانبعاج (٣) .

الأسطح القشرية الانتقالية يمكن أن تكون من منحنيين من نفس الإشارة كأن تكون نتيجة تحرك جزء من دائرة على منحنى آخر دائرى (شكل ٢٦٤) . وهناك احتمالات كبيرة في هذا القطاع ولكن أكثرها انتشاراً تنتج عن تحرك قطاع مكافئ على آخر عمودى عليه . هذه الصدفة تسمى قطاع ناقص مكافئ (Elliptic Paraboloid) : هذه التسمية ترجع إلى أن قطاعها الأفقى قطاع ناقص (شكل ٢٦٥) . وفي حالة تماثل القطاعين المكافئين يصبح القطاع الأفقى دائرياً (شكل ٢٦٦) . وفي حين يغطى الاحتمال الأول مسطوحاً مستطيلاً فإن تشابه القطاعين ينتج سقفاً لمسطحات مربعة . وقد يتحرك جزء من دائرة على منحنى قطع مكافئ وتتكون أسطوانات مكافئة (Parabolic Cylinders) (شكل ٢٦٧) . والصدفات الانتقالية تحملها إجهادات القص على العقود المحيطة (شكل ٢٦٨) . والعقود الحاملة ثابتة في مستواها ومرنة في الاتجاه العمودى عليها . ومن ثم فلا يوجد احتمال تولد إجهاد شد أو انضغاط في هذا الاتجاه عند حواف الصدفة . ويمكن اعتبار الصدفة الانتقالية كأنها قبوات في الاتجاهين حيث إن الصدفة مزدوجة الانحناء في الاتجاهين . والجزء الأوسط من الصدفة يعمل كقبة منخفضة مكوناً لإجهادات انضغاط في اتجاه الرواسم والمتوازيات . أما الجزء المجاور للعقود فهو عرضة لإجهادات انحناء، وهذه ولو أنها تختفى بسرعة داخل الصدفة نتيجة لوجود انحناء عمودى عليها إلا أنها تستلزم زيادة السمك عند الأطراف .

وهناك مجموعة متباينة من الصدفات مزدوجة الانحناء تتكون هندسياً في الفراغ نتيجة لدوران منحنى مستوى حول محور ثابت وتسمى الصدقات الدورانية (Rotational Shells) . والصدفة قد تأخذ أشكالاً متباينة أكثرها انتشاراً القبة الكروية التى تتولد من دوران قوس دائرة حول محور رأسى ، وقبة القطاع الناقص وعملها ليس بكفاءة القبة الكروية نتيجة لطبيعة قممتها الأكثر استقامة والتى تسبب إجهادات

أكبر ، وعلى العكس تعتبر القبة ذات القطاع المكافئ ذات مزايا إنشائية أكبر من القبة الكروية وذلك نتيجة لزيادة انحنائها عند القمة (شكل ٢٧١) .

والتصرف الإنشائي للقباب هو نتيجة مباشرة لخصائصها الهندسية ، فالإجهادات على الرواسم (Meridians) وعلى المتوازيات الدائرية (parallels) هي إجهادات انضغاط وشد بسيطة موزعة توزيعاً متجانساً على قطاعها القشري (شكل ٢٦٩) . وفي حالة عدم كفاية الإجهادات المحورية على الرواسم والمتوازيات في مجابهة الأحمال تتولد إجهادات ثالثة بالقص للتوازن مع هذا الفرق . هذه الإجهادات جميعها من شد وضغط وقص كافية لحفظ شكل القبة (٢٧٠) . وهي إمكانيات كافية لجعل القبة منشأً متوازناً تحت كل الظروف ومنها قوى الرياح الأفقية . وتولد قوى القص يحول كل راسم على القبة لمضلع قوى لأي مجموعة من الأحمال المتماثلة حول المحور وبذلك تقاوم القبة الأحمال بدون إجهادات انحناء . وهنا يبرز الفرق في الكفاية الإنشائية بين الأسطوانة والقبة ، ففي الأولى يكون هناك مضلع قوى واحد لكل حالة تحميل ، وإذا تغيرت حالة التحميل تغير مضلع القوى ونتج عن ذلك إجهادات انحناء ، في حين أن متوازيات القبة توفر لرواسمها ركائز متفرقة على طولها عن طريق قوى أفقية تعوق حركتها ويتولد عن ذلك إجهادات حلقيّة محيطية . وحيث إن إجهادات القبة بالانضغاط أو الشد صغيرة جداً فإن القبة منشأً على درجة عالية من المتانة . وهذه الظاهرة تفسر أسماؤها الرقيقة التي بلغت نسبة البحر إلى السمك فيها من ٣٠٠ إلى ٤٠٠ ضعف* . هذه القباب مستمرة هندسياً ومادياً في اتجاه المتوازيات ، وفي غير حالات الكرات الكاملة ، تنقطع الرواسم عند اتصال القبة بالأساس . وهنا يجب أن تكون ردود الفعل تماماً في اتجاه الرواسم لكي تظل الإجهادات محورية وهذا غير ممكن عملياً بسبب الانبعاج الخارجى للقبة فوق حلقة الشد الخارجية الثابتة الطول عند مستوى الأساس . وهنا تتولد إجهادات انحناء عند اتصال القبة بالحلقة الدائرية محصورة في شريط صغير مجاور الأحرف الخارجية .

والأشكال الدورانية قد تكون على شكل زهرة لأكليل الصباح وعلى الشكل الحلقي (Torus) (شكل ٢٧٣) ، والأنخير يتكون من حركة منحني حول محور لايمسه . وقد تتكامل في تكوين شرنقي (Monocoque) وهو أعلى درجات الاستمرار المادى والهندسى من حيث تغليفه الكامل للفراغ . والمنحني الراسم سواء كان نصف دائرة أو نصف قطاع بيئدي من محور الدوران ، كما يحتمل تكوين مسطحات دورانية على

* المقارنة تبلغ نسبة البحر إلى السمك في البيضة ٣٠ ضعفاً وفي المنشآت ذات إجهادات الانحناء تبلغ النسبة حوالى ٢٠ ضعفاً (٤٤) .

شكل قطرة المياه (شكل ٢٧٤) . وللاستمرار الهندسى يجب ألا يكون هناك تغير مفاجئ للمماس عند أى نقطتين متجاورتين . وحين يتوافر الاستمرار الهندسى والمادى يصبح المنشأ مقفلاً ويصل استعمال المادة إلى ذروته فى الكفاية بدون إجهادات انحناء ، كما تتحدد وظيفتا الإنشاء وتغليف الفراغ فى جسم واحد يقوم بالمهمتين معاً .

فى التحليل السابق رسمنا صورة للعلاقة الوثيقة بين المبادئ الإنشائية المختلفة والأشكال والتكوينات الناتجة : ومن المعتقد أن اتجاه التطور الإنشائى الذى بدأ بالكمرة والعمود وانتقل إلى الإنشاء الهيكلى باختراع الحديد الزهر والصلب سينتقل بالتأكيد، باستغلال إمكانيات الخرسانة المسلحة، إلى تكوينات الأسطح الإنشائية . وهذه قد واجهت المعمارى بتحديات جديدة . وفى الفصول القادمة سنناقش تأثير الاحتمالات الإنشائية بالخرسانة المسلحة على التخطيط المعمارى للفراغ ، ثم نتبعها بدراسة للإمكانيات الجمالية للمادة وتشكيلاتها .

التكوينات المعمارية بالمسطحات الفعالة مزدوجة الانحناء



يتأثر التصميم المعماري للفراغ بالإمكانات الإنشائية للمواد المستعملة . هذه الإمكانيات قد حددت أشكال الفراغات والأغلفة المعمارية على ممر عصور التاريخ .

فاتزان المواد غير القابلة للشد استلزمت أعمدة ضخمة متلاصقة ومرتبطة على محاور شبكية (شكل ٢٧٥) . واتخذت الفراغات الناتجة الاتجاه الرأسي تؤكد وتدعمه الأعمدة الرأسية . وباكتشاف إمكانيات الأقبية بالمواد غير القابلة للشد ، واكتشاف الرومان لحرسانة البترولانا سهلة التشكيل ، ابتعدت الأعمدة والحوائط واتسعت الفراغات لتخدم احتياجات مستجدة . كما اتخذت الفراغات الناتجة بالإمكانات الجديدة أشكالاً متعددة (شكل ٢٧٦) . لقد ولدت لغة معمارية ذات إمكانيات واسعة ، وهذه منحت معماري الحضارات البيزنطية والإسلامية والقوطية وعصر النهضة فرصاً لتشكيل الفراغات في تكوينات لم تكن ممكنة أو معروفة من قبل ، كلاً حسب احتياجاته الخاصة .

وقد أدى اكتشاف المواد القوية في الانضغاط والشد كالصلب والحرسانة المسلحة إلى اتساع احتمالات التصرف في الفراغ المعماري الداخلي إلى حدود أبعد . فبالإنشاء الخطي الهيكلي رفعت الركائز إلى مسافات أبعد ، واتجهت الفراغات إلى الامتداد الأفقي (شكل ٢٧٧) . هياكل الصلب الخطية رسمت الفراغات وغلفتها بلاطات أو ألواح من مواد أخرى . وفي هذه المرحلة التجريبية أدى اكتشاف الحرسانة المسلحة كمادة بلاستيكية متماسكة قابلة للشد إلى تكوينات جديدة خاصة بها . ومع أن مرونتها تسمح بتشكيلها على معظم التكوينات الإنشائية إلا أن خصائصها الإنشائية تستغل إلى أبعد حدودها في التكوينات ذات المسطحات الفعالة حيث يصبح المنشأ حاملاً ومغلفاً للفراغ في آن واحد . وهنا تتوفر القوة نتيجة للشكل . وتعتبر الأشكال المعمارية الناتجة أشكالاً خاصة بعمارة الحرسانة المسلحة .

والأسطح الفعالة تعطي عموماً ما يمكن أن نسميه بالحل العضوي (Organic Solution) ، وهو ما نعبر عنه بالحل المثالي الذي تستعمل فيه المادة على أعلى درجة من ناحية الكفاءة . وهذا ما نجده في الطبيعة في ورق الشجر أو الصدف البحرية أو فقاعة الصابون .

ومن المهم هنا أن نقرر أن مثل هذه التشكيلات الإنشائية مع مزاياها ، لا يمكن اعتبارها حلاً إنشائياً مطلقاً لجميع احتياجات الفراغ المعماري . فسنرى في تحليلنا التالي أن هناك مشكلات وظروفاً خاصة تجعل استعمال هذه التشكيلات غير مرغوب فيها معمارياً أو غير ممكن عملياً وحسابياً ، مما يستوجب استعمال التشكيلات الإنشائية الخطية وما تعطيه من مزايا خاصة تبرر استعمال الحرسانة المسلحة على هذا النحو .

ومن المهم أن نلاحظ أن التأثير النهائي للخرسانة المسلحة على تكييف الفراغ المعماري هو نتيجة للإمكانيات الإنشائية للمادة علاوة على عوامل أخرى خاصة بكل حالة معمارية . فالاستعمال الكفء للمادة والعمالة ليس بالحل الأمثل في كل حالة ، فقد تتداخل عوامل أخرى تجعل مثل هذا الاستعمال مستحيلاً أو غير مناسب .

ومن العوامل التي تؤثر في اختيار نوع الإنشاء ظروف الموقع : فأراضي وسط المدن الغالية المحدودة المسطح تتطلب لأسباب اقتصادية استغلال المسطح إلى أقصى حدوده ، وهذا يتوافر بالتكرار الرأسى لفراغات محدودة الارتفاع . مثل هذه المواقع تفرض أنواعاً معينة من الإنشاء لا يستازمها موقع متسع على حدود المدينة أو في الريف حيث يتوافر الفراغ للامتداد الأفقى بوحدات فراغية منفصلة الواحدة عن الأخرى . هذا الحل له احتمالاته الإنشائية المناسبة ، وشكل الموقع في هذه الحالة لا يضع قيوداً محسوسة على شكل الوحدات الفراغية الناتجة .

كذلك فإن توافر الإمكانيات للتنفيذ يؤثر في الاختيار النهائي للطريقة الإنشائية . فقد تكون النظرية الإنشائية الجديدة سليمة نظرياً في حين أن استعمالها في مبنى معين يتوقف على الاحتمالات الاقتصادية للتنفيذ . فالإنشاء القشري قد يكون باهظ التكاليف يتطلب وقتاً طويلاً أو قد يكون مستحيلاً . ومشكلات إقامة المنشأ كانت ولا تزال في أهمية مشكلات ضمان سلامته بعد اكتماله : فالمنحدرات الرملية الهائلة والشدات المعقدة وطرق الرفع المتعددة والعدد اللانهائى من العمال ، جميعها دخلت في عملية إنشاء المباني التذكارية التاريخية . وهنا نرى أن التطور الإنشائى كان نحو تسهيل عمليات البناء بإدخال مبدأ استعمال الوحدات الصغيرة في العقود والجمالونات . كما سهلت طريقة البناء بالوحدات الجاهزة مرحلة التنفيذ على الموقع . وبالتدرج أصبح تنفيذ التكوينات ذات الكفاية الإنشائية العالية والتي كان من المستحيل أو غير الاقتصادى تنفيذها بالطرق التقليدية ممكناً واقتصادياً . وهناك شتى الدلالات على أن تقدم استغلال الطاقة الميكانيكية الكهربائية والذرية في مجال رفع ونقل المواد سيجعل من الممكن إقامة منشآت طال اعتبارها غير ممكنة لأسباب إنشائية . وإلى ذلك الحين فالطرق الإنشائية السائدة تؤدي المهمة بطريقة اقتصادية بالنسبة لبعض التشكيلات الإنشائية ، وبطريقة باهظة التكاليف بالنسبة للبعض الآخر . ولا يبرر استعمالها في هذه الحالة إلا الاحتياجات الانتفاعية أو الجمالية . وإذا لم يكن الأمر كذلك ، فإن على هذه التكوينات التي قد تكون أعلى كفاية من الوجهة الإنشائية أن تنتظر الوقت المناسب حين يصبح تنفيذها ممكناً عملياً واقتصادياً .

والاحتياجات المعمارية للفراغ من أهم العوامل التي تؤثر في اختيار التكوين الإنشائي. هذه الاحتياجات تفرض بلا شك حجم وشكل ونوع الفراغ الناتج. وفي القرن التاسع عشر ظهرت احتياجات معمارية جديدة للفراغات الكبيرة، ولحسن التوفيق وجدت المواد والإمكانات الإنشائية لاستيفاء هذه الاحتياجات. ومن هذه الاستعمالات الجديدة الطلبات المتزايدة للصناعة لخلق دواخل كبيرة خالية من العوائق لاستيعاب الماكينات بأنواعها المختلفة. كما تتطلب معدات النقل الحديثة متفاوتة الحجم من الطائرات النفاثة والعادية والأوتوبيسات واللوريات والعربات والسكك الحديدية فراغات كبيرة في المساحة والارتفاع لتخزينها وصيانتها وتشغيلها. كما ازداد الاتجاه إلى فراغات خالية من الأعمدة للمعارض وصالات البيع لكي تعطى أوسع رؤية مع مرونة لازمة في توزيع الأقسام المختلفة. وبتطور الحياة الاجتماعية لمجموعات كبيرة من الناس ازدادت الحاجة إلى الفراغات الواسعة التي تستوعب احتياجات اجتماعية وترفيهية وثقافية ورياضية. هذه الفراغات تستوعب عدداً كبيراً من المتفرجين يراقبون نشاطاً معيناً يجري في مساحة مركزية. ومن الملائم أن تتخذ مثل هذه الفراغات شكلاً يقرب من الدائرة أو القطاع الناقص. مثل هذا الترتيب يقرب كل متفرج من مركز الاهتمام وبذلك يعطى استغلالاً أفضل للفراغ. وتؤمن الأرضيات المنحدرة نحو مركز الاهتمام الذي قد يكون بدوره مرتفعاً، الحصول على أفضل رؤية. أما شكل السقف فتحده الكفاية الإنشائية بالإضافة إلى الاعتبارات الصوتية. مثل هذه الفراغات غالباً ما تكون من النوع المقلد. وبهذا نعى أن أغلب أوجه النشاط تتجه إلى الداخل بدون أى اهتمام إلى الخارج، على الأقل أثناء تشغيل المبنى.

وبجانب هذه الأنواع الخاصة من الفراغات الكبيرة نجد أن النوع الأكثر شيوعاً واستعمالاً هو الفراغ المحدود المتكرر في خلايا ممتدة الواحدة بجانب الأخرى أفقياً ورأسياً. هذا النوع من الفراغ ذي الباكيات المقلدة أو المفتوحة، يستعمل كل خلية منه عدد محدود من الناس لاحتياجات سكنية أو تعليمية أو ترفيهية أو ثقافية ولأغراض العمل والتجارة. وهذه بطبيعتها تحتاج إلى فراغات متفاوتة في مسطحاتها في الدور الواحد وبين دور وآخر، كما تتطلب مرونة لانهائية في التنسيق الداخلي واحتمالات ضم وحدات أو حجزها حسب الاحتياجات المستقبلية للفراغ. مثل هذه الفراغات تكون من النوع المفتوح حيث توجد محاولات انتفاعية لربط الداخل بالخارج، وذلك لاستقبال الهواء والشمس والضوء والمنظر. والخلايا بطبيعتها تكوينها وتنسيقها تأخذ غالباً أشكالاً تكعيبية مع احتمالات أخرى إذا ما كان الامتداد أفقياً. وقد وفرت المواد الحديثة ذات القوة العالية في الانضغاط والشد هذه الأنواع من

الفراغات مركزة التحميل في خطوط رأسية وأفقية تاركة الفراغات الداخلية لتنسق حسب الاحتياجات المعمارية، والمسطحات الخارجية لتكسى حسب نوع الاتصال المطلوب بين الفراغ الداخلى والخارجى .

المشكلات المعمارية لاستعمال الأسطح الفعالة : تؤثر منشآت الأسطح الفعالة تأثيراً كبيراً في عملية التصميم المعماري ، فالمنشأ لكونه مغلفاً للفراغ يحدد لدرجة كبيرة هذا الفراغ على عكس المنشآت الحطية التي ترسم الفراغ فقط . ومع أن هذه الحقيقة تفتح كما ذكرنا مجالات معمارية واسعة ، إلا أنها تضع مشاكل وعوائق في المسقط والقطاع المعماري .

وعلى العموم نجد أن تكوينات الأسطح الفعالة قد خلقت فراغات كبيرة مغطاة بمنشآت على أعلى درجة من الكفاية الإنشائية بقوة نابعة من طبيعة تكويناتها المستمرة المنحنية . مثل هذه الأشكال تناسب بطبيعتها مسقطها وقطاعها احتياجات الفراغات الكبيرة المقفلة مثل قاعات الاجتماعات بأنواعها والساحات الرياضية المقفلة ، وكذلك مساحات التخزين .

وطبيعة المنشأ كمغلف للفراغ تمثل تحديداً على درجات متفاوتة للحرية في التصرف بالقشرة الخارجية للمبنى . ومع أن هذه التكوينات المنحنية قد تلائم بعضاً من الاستعمالات إلا أنها تواجه المعمارى بمشكلات في البعض الآخر (شكل ٢٧٨) . فالحوائط الخارجية المنحنية في المسقط والقطاع تخلق مشاكل في علاقتها بالقواطع الرأسية وبالأسقف الأفقية الداخلية وبمشمولات المبنى وبمتطلبات ارتفاعات معينة لأى فراغ مستعمل . فباستعمالها تتكون فراغات ممتدة في المسقط والقطاع لا يتوافر فوقها الارتفاع الكافى للاستعمال السلم بواسطة عدد كبير من الجمهور (شكل ٢٧٩) . وقد يلجأ المعمارى في تنسيقه إلى استغلالها لمقاعد الجلوس أو التخزين ، أو الخدمة ، أو منع المرور فيها بشغلها بأحواض الأزهار أو المياه .

وحيثما يغلف الإنشاء الفراغ بكامله تصبح فرص التغيير في المستقبل . بالإضافة أو الحذف للغلاف الأصيل محدودة . ويكون هذا صحيحاً إذا لم تهياً احتمالات التغيير في التصميم الأصيل . هذا النقص في مرونة الغلاف الخارجى تعادله حرية مطلقة أمام المعمارى في التصرف في حدود الفراغ العام (Universal Space) تحت المنشأ القشرى ذاته . هذه الخاصية ذات نفع كبير بالنسبة للاحتمالات تعدد استعمالات فراغ معين (شكل ٢٨٠) .

إن المنشأ كغلاف للفراغ يخلق فراغات مغلقة تماماً في حالة اكتمال استمراره الهندسى والمادى . والفتحات من طبيعتها أن تقطع هذا الاستمرار وتسبب تركيزاً للإجهادات حولها . والفتحات الدائرية

التقليدية في السقف ، وهي الحل المباشر ، لا تعطى إضاءة منتظمة ، وهي لا تمثل إشكالات من الناحية الإنشائية* (شكل ٢٨١) . أما الفتحات الكبيرة الناتجة عن قطع جزء كبير من الغلاف القشري فهي تستلزم إضافات بالنسبة لسمك السقف والتسليح حول الفتحة . وقد يتطلب الحال مقويات خاصة حول الفتحة لاتزان الصدمة القشرية . أما في التكوينات الأقل استمراراً ، فمن المحتمل تشكيلها بحيث لا تقع الفتحات في السطح الفعال ذاته . كما أنه من الممكن اختيار السقف القشري بحيث تترك فتحات للإضاءة بين وحداته المتكررة ، كما يمكن عمل الفتحات في أجزاء الحوائط غير الفعالة . هذه الحلول ممكنة إنشائياً ومستحبة من الناحية التعبيرية .

ولحل مشكلات تنسيق الفراغ الداخلي الناتج ليناسب الاحتياجات المعمارية المختلفة يجب عمل بعض التعديلات على الشكل النقي . وتتفاوت هذه التعديلات من منشأ لآخر بتفاوت طبيعته ونوع الفراغ المطلوب . وسنخصص باقي الفصل والفصل القادم لمناقشة الاحتمالات والتعديلات المعمارية اللازمة للتغلب على المشكلات السابقة وذلك لجميع درجات المنشآت ذات الأسطح الفعالة ، تاركين مناقشة المنشآت ذات الوحدات الخطية للفصل التاسع .

التكوينات المزدوجة الانحناء (المنحنيان لهما نفس الإشارة)

يلأثم الشكل الشرقي بطبيعته كدروة الاستمرار الهندسي والمادى الفراغات الكبيرة المقفلة . وهو ملائم على الأخص للفراغات الكبيرة التي تخدم عدداً كبيراً من الناس (شكل ٢٨٢) . وفي هذه الحالة يخدم الجزء المنحني الأسفل من المنشأ كأساس عائم وخاصة في حالة التربة الضعيفة . هذا الجزء يشكل ميولا طبيعية للمقاعد الثابتة ، مما يوفر للنظارة رؤية خالية من العوائق وانسياباً طليقاً مباشراً للصوت . والحوائط الخلفية المنحنية في هذه الحالة تسبب مشكلات صوتية . فالحوائط الدائرية تسبب صدى في مركزها ، وحوائط القطع الناقص ينتج عنها توزيع غير منتظم للصوت . ولضمان توزيع أفضل للصوت المنعكس يلزم إضافة أسطح أسطوانية محدبة مفرقة للصوت ، كما يمكن تغطية الحوائط الخلفية بأسطح ماصة للصوت تمنع الانعكاسات ، وبالتالي تلغى صدى الصوت . أما الأسقف المنحنية فهي لا تمثل إشكالا إذا روعي أن يكون نصف قطرها إما أكبر من ضعف أو أقل من نصف ارتفاع السقف . وقد صمم المعماري أمانكيو وليامز (Amancio Williams) سقفاً قشرياً محدباً إلى الداخل

* استعملت فتحات صغيرة دائرية في صالة السوق بمدينة الجسراس (شكل ١٩٠) وفي مصانع كابلات إنفيلد في برنمور بجنوب ويلز (شكل ٣١٨ ، ٣١٩) وفي أمثلة أخرى . ويمكن توفير فراغ منير باستعمال سقف خرساني به بلكات زجاجية محاطة بصلبوع خرسانية . والبلكات ينظر إليها في هذه الحالة كقطع ركام كبيرة (١) .

لكي يعمل كمفرق للصوت في تصميمه لقاعة احتفالات موسيقية ، كما استعمل المعمارى ايرو سارينين (Aero Saarinen) معلقات متكسرة بالسقف لتوجه الصوت نحو المقاعد الخلفية للسقف القشري لقاعة اجتماعات معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا (M.I.T.) (أشكال من ٢٨٨ إلى ٢٩٠) .

والأشكال الشرنقية الكاملة مثالية إنشائياً في حالة خزانات المياه والسوائل والحبوب المختلفة ، سواء أكانت كروية* ، أم ذات قطاع على شكل القطع الناقص ، أم على شكل قطرة الماء . وهذه إما أن تتركز عاتمة على الأرض أو ترفع على أعمدة .

والقباب الدورانية بقطاعاتها المختلفة الأشكال والارتفاعات تكون أسقفاً على درجة عالية من المتانة باستمرارها المادى والهندسى مع مراعاة اتخاذ الاحتياطات الكافية لمنع الطرد الخارجى للقبة عند قاعدتها وبخاصة بالنسبة للقباب القليلة الارتفاع ، وذلك إما بعمل حلقة مستمرة دائرية عند القاعدة ، وإما بتحميل القبة على الأرض ، على أساس إمكانية تحملها للطرد الخارجى . مثل هذه القباب تغلف فراغات كبيرة بكفاية عالية في استعمال المادة . هذه الفراغات تكون مقفلة بالغلاف الخارجى ومكونة لفراغ عام قد يستعمل لصالة واحدة أو يقسم لفراغات داخلية صغيرة داخل الفراغ العام وذلك عن طريق حوائط وأسقف داخلية . وقد استعملها المهندسون فوستر وروبرتس وشيفر ، والمعمارى تايلر (J.G. Taylor) بقطر ١٥٠ قدماً وقطاع على شكل قطاع ناقص بسمك ٣ بوصة كغطاء لمرشحات التقطير في محطة تحليل المجارى في مدينة هيبينج (Hipping) بولاية منسوتا^(١٢) (شكل ٢٨٤) . كما استعمل المعمارى البرازيلى نياير قبة دورانية على شكل قطاع مكافئ دورانى كغلاف للفراغ المكون لقصر الفنون بسان باولو سنة ١٩٥٤^(٣) ، وبداخل هذا الفراغ الداخلى سقفان ذوا أضلاع وإنشاء حر مستقل عن القبة . والفراغ العام مضام من عقود صغيرة على مستوى اتصال القبة بالأرض (أشكال من ٢٨٥ إلى ٢٨٧) :

ومع ذلك فإن استعمال الشكل المتكامل المزدوج الانحناء محدود معمارياً — وعلى المعمارى أن يقوم بعدة تعديلات فيه لتكييفه لأكثر عدد من الاستعمالات المعمارية لكي يتمكن من استغلال كفايته الإنشائية .

* أقامت شركة إير فورم الدولية للإنشاءات (Air Form International) مجموعات مخازن كروية كصوامع للذلل بالقرب من عمان بالأردن .

فالاستعمال القاصر للأشكال المزدوجة الانحناء على المساقط المنحنية ، يمكن التغلب عليه بقطع الشكل المتكامل هندسياً بمستويات مصممة لكي تعطى مع ما يتبقى من السطح الفعال الفراغ المعماري المطلوب . هذه القطاعات تضعف التكوين الإنشائي العام مما يتطلب معها تقوية الأطراف بكمرات أو أجزاء مقلوبة من الصدف ذاتها . ومن الناحية المعمارية تحل القطاعات مسائل التهوية والإضاءة داخل الصدف القشرية ، إذ أنها تعطى مساحات خارجية غير حاملة يمكن ملؤها بقواطع شفافة متحركة . كما يمكن استغلالها كفتحات للتوزيع بين الداخل والخارج . وفي صالة المسرح في معهد ماساشوسيتس للتكنولوجيا (أشكال من ٢٨٨ إلى ٢٩٠) استعمال المعماري سارينن قبة خرسانية بنصف قطر ١١٢ قدماً مقطوعة بهرم مقلوب ثلاثي الأضلاع . وعلى خطوط التقاطع المنحنية وضعت حوائط زجاجية رأسية بين الركائز الثلاث والتي تبعد الواحدة منها عن الأخرى ١٦٠ قدماً^(٤) . وقد تمكن المعماري من استغلال هذا الغلاف الرقيق (سمك $\frac{1}{4}$ ٣ بوصات في ٨٠ ٪ من المسطح ، ٢٤ بوصة عند الركائز) في خلق فراغ شغاته قواطع وأسقف داخلية لمسرح يسع ١٢٠٠ شخص وآخر تحته يسع ٢٠٠ شخص ، مع غرف بروقات وورش وخلافه . والمبنى كما هو قائم الآن تنقصه من الناحية الانتفاعية المخازن الواسعة اللازمة للتشغيل الكامل لمسرحين كبيرين ، وقد اضطر المهندس لذلك تحت حكم الشكل العام للقبة .

وقد يستقل الحائط الخارجي غير الفعال المغلف للفراغ المستعمل داخل المحيط الدائري للقبة مع تهيئته بفتحات للإضاءة والتوزيع الخارجي . وقد استعمل المهندسون جراوندرز ورومبرج وبويد (Grounds, Romberg & Boyd) هذا التكوين في مبنى لقاعة اجتماعات أكاديمية العلوم بمدينة كانبرا بأستراليا باستعمال قبة كروية ذات نصف قطر ٨٠ قدماً (سمك ٣ بوصات) وبها ست عشرة فتحة دائرية (شكل ٢٩١) . وقد حجز الجمهور عن المرور تحت الركائز المائلة بعمل بركة ماء حول المبنى (Water moat) . وقد وضعت صالة الاجتماعات الرئيسية بقطر ٦٤ قدماً في وسط المسقط الدائري وحولها صالات الاستقبال والقراءة والعرض والمكاتب والخدمات المختلفة . هذا وقد غطيت القبة بشرائح من النحاس^(٥) (أشكال ٢٩٢) وباستعمال هذه المستويات القاطعة للقبة يمكن إنتاج فراغات ذات مساقط وقطاعات مختلفة . ومنها بنى المهندس المعماري اليوت نويز وشركاه منزلين كل منهما على شكل قبة بقطر ٣٠ قدماً وارتفاع ١٤ قدماً في هوب ساوند (Hobe Sound) بفلوريدا ، والقبة مقطوعة بمستويين مائلين متقابلين (أشكال من ٢٩٣ إلى ٢٩٥) . وقد اقترح نفس المعماري تصميمات أخرى مستعملاً نفس القبة بقطر ٦٠ قدماً لمنزل ومدرسة

(شكل ٢٩٦) . وفي المدرسة قطعت وحدات القباب على الجوانب الأربعة ، وكونت كل منها فصلاً مربعاً ذا أربع حوائط رأسية .

كما يمكن تغطية المساقط النصف دائرية بقية يقطعها مستوى رأسى أو مائل . وقد استعمل المهندس المعماري برسيغال جودمان (Percival Goodman) نصف قبة * قطرها ٩٠ قدماً لتسقيف صالة الصلاة في معبد بيت شولوم (Beth Sholom) بشاطئ ميامي بفلوريدا (شكل ٢٩٧) . كما تولدت على محيط القبة فتحات على شكل القطع المكافئ نتجت عن تقاطع أقبية بنفس الشكل مع السقف القشري .

ومن الواضح أنه بالتجميع يمكن استعمال التشكيلات المزدوجة الانحناء لتغليف فراغات ذات مساقط مربعة ، أو مستطيلة ، أو مثلثة ، أو متعددة الأضلاع ، أو دائرية ، أو غير منتظمة (شكل ٢٩٨ ، ٢٩٩) . وفي هذه الحالة يمكن تقوية الأركان بإعطائها قطاعات متكسرة (شكل ٣٠٠) . وبتكرار مثل هذه الوحدات يمكن توسيع مدى استعمالها ؛ فالباكيات الكبيرة المتكررة في مسقط شبكى يمكن تغطيتها بوحدة مزدوجة الانحناء مقطوعة على أربعة جوانب ومصنفة الواحدة بجانب الأخرى (شكل ٣٠١) . ويوضح (شكل ٣٠٢) إمكانيات تغطية المساقط المضلعة . وقد استخدمت مثل هذه الوحدات المركبة لتغطية المساقط الدائرية أو على شكل القطع الناقص . وقد صفت ثلاث عشرة وحدة مزدوجة الانحناء على مسقط دائري لتغطية صالة السوق في مدينة رويان (Royan) بفرنسا (أشكال من ٣٠٣ إلى ٣٠٥) كما كونت صدفة قشرية متموجة (Scalloped Ellipsoid) قبة على شكل قطع ناقص لصالة العشاء بفندق لاكونشا (Laconcha) بمدينة سانتورس (Santurce) ببورتوريكو (أشكال من ٣٠٦ إلى ٣٠٨) . والحائط الزجاجي لهذه الصالة على شكل القطع الناقص يستمر تحت السقف القشري المموج (شكل ٣٠٧) تاركاً نقط الارتكاز داخل سطح مائى عاكس .

جميع التكوينات السابقة كونت مساحات قريبة من نقط الارتكاز تقل فيها الارتفاعات لدرجة تجعل استعمالها الجرجير متوافراً ، والمعماري سعيّاً وراء زيادة الاحتمالات المعمارية للأسطح الخرسانية الفعالة قد يستغل إمكانيات رفعها على ركائز خطية . في هذه الحالة تزداد مرونة الإنشاء وتصبح الفراغات بين الأعمدة فراغات غير إنشائية . ويمكن تركها مفتوحة أو تغليفها بالزجاج أو بأي مادة غير فعالة .

* استعمل الرومان أنصاف القباب الخرسانية في بعض من مبانيهم ومنها السيراييوم (Serapeum) بفيلا هديران ومعبد فينوس وكيويد وحماما تروجان ودايوكليسيان .

والأعمدة هنا قد تكون امتداداً للرواسم ، أى تنفذ مائلة فى اتجاه أحمال القبة . وهنا تستمر الإجهادات المحورية بين القبة والزكائر - وعلى المصمم أن يوفر طرق نقل الأحمال من القبة المسطحة إلى الأعمدة الخطية . وقد استنبط نيرثى حلاً على درجة عالية من الكفاية والتعبير فى قبة سراى الرياضه الصغير بروما وذلك باستعمال وحدات مثلثة على شكل مروحة تنقل الأحمال من القبة إلى أعمدة مائلة ذات فرعين (شكل ٣٠٩ ، ٣١٠) والمساحات بين المثلثات أعطيت انحناءات إلى أعلى . أما الحائط الخارجى بقطر ٥٥ متراً على مستوى نهاية المثلثات فنفذ من الخرسانة إلى ارتفاع المدرجات ، ثم قفلت المسافة الباقية بالزجاج الرأسى إلى ارتفاع نهايات الأعمدة وبزجاج مائل لتقفل المساحات الباقية (شكل ٣١١ ، ٣١٢) .

والقباب أو مجموعات الوحدات مزدوجة الانحناء يمكن رفعها على أعمدة رأسية ، وفى هذه الحالة يلزم مراعاة موازنة الطرد الخارجى للسقف على الأعمدة الخطية الضعيفة . وقد تكون هذه الموازنة على طريق حلقة شد دائرية سابقة الإجهاد كنهاية للأسطح الدورانية فوق الأعمدة ، كما فى القبة الدائرية المنخفضة المغطاة لصالة اجتماعات مدينة البكر بولاية نيومكسيكو (شكل ٣١٣ ، ٣١٤) وهى بقطر ٣٠ م ، ٦٦ م والفراغ تحت القبةخصص للجلوس ٣٥٠٠ متفرج على مقاعد ثابتة و ٢٥٠٠ متفرج على مقاعد متحركة فى الوسط (شكل ٣١٥) . والفراغ الأوسط مخصص لاستعراضات الثلج والسرك والحفلات الاجتماعية والموسيقية .

وفى حل آخر فصل المهندس تروخا الكمرة الرابطة عن القبة ، وذلك لتغطية مسقط مئمن لسوق تجارى بمدينة ألبسيرا إسبانيا^(٦) . والقبة الدائرية قوية أركانها بأجزاء مقلوبة بارزة من القبة ، وملء الفراغ بينها وبين الكمرة المثلثة الرابطة سابقة الإجهاد بشبائيك للإضاءة . والقبة بقطر ١٦٠ قدماً وسمك ٣ ¼ بوصات فى وسطها و ١٧ بوصة عند الأطراف ، وبها فتحة وسطى مثمنة غطيت بوحدات خرسانية مثلثة سابقة الصنع وذلك لإضاءة الجزء الأوسط من الصالة (شكل ١٩٠) .

ومن الممكن استعمال قباب خرسانية مقلوبة سابقة الإجهاد مرفوعة على أعمدة فى تغطية المساقط الدائرية للمباني الرياضية والترفيهية . وفى هذه الحالة يتبع السقف الميل الداخلى لمقاعد المتفرجين . هذه الأسقف المعلقة المزدوجة الانحناء تستغل إمكانيات الصلب فى مقاومة الشد وإمكانيات البلاطات الخرسانية فى تثبيت الأسقف ومنع اهتزازاتها . وقد رأينا هذا التكوين فى إستاد المعرض الصناعى فى منتفديو بأورجواى (شكل ١٤٥ ، ١٤٦) ، وفى الاستراحة الدائرية بمعسكر كولومبيا بمدينة

ليتشفيلد (Litchfield) بولاية كنتكت (شكلي ١٤٧ ، ١٤٨) . وقد استعمل المكتب الهندسي سكدمور وأوونج وميريل (Skidmore, Owing & Merril) قبة مقلوبة لتغطية الحلقة الحديدية ببحر ٤٢٠ قدماً بمدينة أوكلاند بولاية كاليفورنيا^(٧) . ومن الطريف في هذه الصالة طريقة تحميل القبة على أعمدة خارجية متقاطعة (شكلي ٣١٦ ، ٣١٧) . وينتج عن هذه الأعمدة توازن القبة العرضي والالتوائي . والحائط الخارجي زجاجي عازل مستقل عن أعمدة الارتكاز . ومن الممكن استعمال هذه الأسقف للمساقط البيضاوية .

وبرفع الأسقف القشرية المزدوجة الانحناء على أعمدة يمكن تغطية المساقط الشبكية ذات الباكيات الواسعة المتكررة . ولئلا هذه التوزيع مزايا كبيرة في المصانع . وقد استخدمت مثل هذه الأسقف بنجاح كبير في مصنع كابلات انفيلد بمدينة برنماور بولاية ويلز الجنوبية (١٣٥ متراً X ١٠٠ متر) (أشكال من ٣١٨ إلى ٣٢٠) . وفي هذا المصنع ترتكز تسع قباب ٣٠ متراً طولاً و ٢١ متراً عرضاً ، وبسلك من ٧,٥ سم إلى ٩ سم على أربعة أعمدة في أركانها . والوحدات مفصولة بعضها عن بعض بممشى ، وبذلك يمكن توفير إضاءة جانبية علوية خلال كمرات التقوية الجانبية المفتوحة علاوة على فتحات دائرية بالصدفات ومن الممكن زيادة الإضاءة بإمالة مستويات هذه الفتحات : هذا التصميم وفر فراغاً للعمل جيد الإضاءة ببحور واسعة بين الأعمدة . وهناك إمكانيات لعمل مثل هذه الوحدات في بحور تبلغ ٩٠ متراً وبسلك جوالى ١٠ سم مما يعطى إمكانيات انتفاعية غير محدودة . وقد استعملت هذه الأسقف سابقة الصب ببحور حوالى ٨ أمتار في الجهتين في صالة سوق ستيوارت بمدينة نيوكان بولاية كنتكت بأمريكا (شكلي ١٢٦ ، ١٢٧) . وقد استغل المهندس طابع التكرار فصبها على الأرض ورفعها على الأعمدة . وقد هيأت الجوانب فرصاً للإضاءة بالإضافة إلى المسافات بين كل وحدة وأخرى .

في الاستعمالات السابقة استعملت قباب أو وحدات مزدوجة الانحناء مقطوعة بمستويات رأسية من جوانبها لإمكان تنسيقها وتكرارها الوحدة تلو الأخرى . وفي مصنع إشمان (Eschmann A G) بمدينة ثون (Thun) بسويسرا غطيت باكيات مستطيلة (٢٠ م X ١٤,٢٠ م) بقباب كاملة ذات سطح محدب (Humpedback) وذات محيط سابق الإجهاد ومكونة من أربع قطع مزدوجة الانحناء تنتهى بمستطيل عند قاعدتها وتتقابل في منتصف القبة عند فتحة دائرية للإضاءة (شكل ٣٢١) . وبهذه القباب التي استنبطها المهندس لسار (Lsler) عام ١٩٥٤ ، يمكن تغطية باكيات ذات سطح حوالى ٤٠ متراً في الاتجاهين^(٨) (شكلي ٣٢٢ ، ٣٢٣) .

ويمكن تغطية البواكي المربعة (شكل ٣٢٥) أو الطويلة المستطيلة المفردة (شكل ٣٢٥) أو المتكررة بسقف قشري انتقالي (Translational) يتحرك فيه منحني بنصف قطر صغير على منحني أكبر بحره يساوى طول الباكية المتكررة ، ويتولد في هذه الحالة سقف قشري مزدوج الانحناء . وقد استعمل المهندسون بلنر وأندرسون (Billner & Anderson) هياكل انتقالية مزدوجة في اقتراحهم لسقف ذى بحر ١٠٠٠ قدم بسمك متوسط ٦ بوصات (شكل ٣٢٦) . كما غطيت محطة أوتوبيس ستوك ويل (Stock Well) بلندن (شكل ٥٩٣) بباكيات من هذه الأسقف المزدوجة الانحناءات ذات بحر ٩٠ متراً . وقد هيأت فتحات علوية في جسم السقف القشري وبين الأعمدة للإضاءة . كما استعملت نفس الأسقف في الحظيرتين التوأمتين في مرسيليا بنفس البحر ، وقد رفعا هيدروليكيا إلى وضعهما النهائى على ارتفاع ١٨ متراً . كما استعملت مثل هذه الوحدات في سقفين كابولين لحظيرة طائرات بفرانكفورت بألمانيا (شكل ٦٠٢) .

ويعتبر الاستعمال المعماري للأشكال المتموجة السابقة التجهيز التي ابتكرها بيير لويجي نيرفى حلاً ناجحاً لمشاكل الشدات المعقدة اللازمة للأسقف القشرية . وقد لمسنا هذا الاستعمال في صالة العرض الرئيسية بمعرض تورينو (١٠٠ متر) ، وفيها تجمعت كل ثلاثة ضلوع متجاورة على عمود واحد بواسطة مروحة متموجة تنقل الإجهادات إلى الدعام المائلة (شكل ٣٢٧) وبذلك تحققت المرونة اللازمة في مستوى سطح الأرض . ويغمر الضوء الطبيعي الصالة خلال فتحات موجودة بالأشكال المتموجة . كما توافرت الإضاءة الصناعية بخطوط من لمبات فلورنست في بطنية المنحنيات مؤكدة الشكل العام للصالة . وفي الاستعمالات الأخرى كما في حمام سباحة الأكاديمية البحرية في لجهورن (Leghorn) بإيطاليا (شكل ٣٢٨) تخدم التموجات ، التي تغطيها من أعلى بلاطات خرسانية ، كممرات لمواسير تكييف الهواء والتدفئة مزودة بفتحات قريبة من قمة القبو . وقد اقترح نيرفى استعمال هذه الوحدات المتوجة لحظيرة طائرات بمطار بيونس ايرس ذات بحر ٥٥٠ قدماً . والتموجات وما يغطيها من بلاطة خرسانية مسلحة وتربيعات تكون ممرات هوائية عازلة للمنشأ من التغيرات الحرارية الخارجية . وما زال المجال مفتوحاً لتحقيق نتائج اقتصادية واستعمالات معمارية أوسع باستعمال هذه الوحدات الإنشائية ؛ إذ يؤكد نيرفى أنها تعتبر حلاً إنشائياً بالبحر متصل إلى حوالى ٢٠٠ متر .

وتبسيطاً للتموجات السابقة يمكن استبدالها بمسطحات مسنمة (Hipped Plates) وهي التي استعملها فريسينيه في حظائر أورلى ٣٢٠ قدماً (شكل ١٨٨) . وقد تركت فتحات للإضاءة بين كل عصب . وقد ظهرت تطبيقات معمارية لهذا السقف في أمريكا حيث أنشئت حظائر طائرات لشركة الخطوط

الجوية العالمية (T.W.A.) في كانساس سيتي وفي نيويورك، ولشركة بان أمريكان العالمية في نيويورك . وكل منها له فراغان (٨٠٠ قدم X ١٦٠ قدماً) على جانبي الجزء الأوسط المخصص لورش الصيانة والمكاتب . وكل فراغ مغطى بسقف منحني مسنم يرتكز ضلعه الداخلي على أعمدة داخلية ويبرز الضلع الخارجي معلقاً في الهواء من حبال من الصلب تبرز من دعائم خرسانية تعلو الجناح الأوسط . وبذلك يكون فراغ الحظيرة ذا ثلاثة جوانب خالية تماماً من أية أعمدة إنشائية . وتقام الحوائط المغلفة للمبنى على الضلعين القصيرين (١٦٠ قدماً) تاركة الجانب الأكبر (٨٠٠ قدم) حرّاً الحركة الطائرات (شكل ٦٠٣) . وجدير بالذكر ملاحظة تغير عمق الموجة على امتداد العصب مما يتناسب مع احتياجات الإجهادات المحلية . مثل هذه الأسقف المعلقة المفتوحة معرضة لضغط الهواء من جميع الاتجاهات ، ويتسبب هذا في حدوث ذبذبات رأسية بلغت ٣ أقدام في الحالات القصوى . وهذا يعني ترتيبات خاصة لجميع العناصر المغلفة للفراغ تحت السقف . فالأبواب المنزلقة تحت نهاية السقف وعلى الأرض مصنوعة من جزئين أحدهما مائل والآخر رأسي بينهما مفصلات . والسقف ينزلق خلف النوافذ والحوائط الجانبية التي تتحرك داخل جيب متصل بالسقف .

مثل هذه المسطحات المتكسرة يمكن أن تستغل لتكوين منشآت متكاملة مستمرة . وتعتبر محطة الوصول لنظام العربات المعلقة بأعلى جبل مونت أفيل (Mt. Avila) بجوار كراكس بفنزويلا والتي تمت سنة ١٩٥٥ ، استعمالاً معمارياً مبكراً لهذا الإنشاء (شكل ٣٢٩) . ومن قبل قام لويجي موريتي (Luigi Moretti) بعمل نماذج من الورق المنطبق بطرق معينة للوصول لأسقف منحنية منكسرة . هذه التجارب استمرت بواسطة المهندس الأمريكي ريتشارد فلايشمان (Richard Fleishman) الذي قام بعمل سلسلة نماذج لمساقط مستطيلة ومربعة ومثلثة ومتعددة الأضلاع (شكل ٣٣٠ ، ٣٣١) . كما قام طلبة السنة الثانية عمارة بجامعة القاهرة في العام الدراسي ٦٤ - ٦٥ بعمل نماذج لاحتالات أخرى لهذه الأسقف (أشكال من ٣٣٢ إلى ٣٣٧) . وقد قدمنا في (شكل ٣٣٨ ، ٣٣٩) احتمالات أخرى لهذه المسطحات المتكسرة باستعمال القطاعات لتغطية مساقط مستطيلة .

ومن الممكن استغلال بلاستيكية الخرسانة لتركيب أسقف مزدوجة الانحناء على مساقط مستطيلة ، وذلك لتوفير انتقال تدريجي بين السقف والأعمدة . وقد استعمل الرومان المثلثات الكروية في مبانيهم الخرسانية . ومن أمثلة ذلك الغرفة العليا في كزال دل بياتري (Cassle Del Piazzzi) ومقبرة سيديا دل ديافالو (Sedia Del Diavelo) والصالبة المثلثة بحمامات كركالا (Caracalla) . وقد تطورت هذه المثلثات

الكروية بعد ذلك في العمارة البيزنطية والإسلامية . واستعملها في الخرسانة المسلحة ما زال منتظراً الاستكشاف والتجربة . وبلاستيكية وقوة الخرسانة المسلحة لا بد أن تساعد على خلق تشكيلات تفوق تلك التي وصل إليها الرومان بالخرسانة العادية . وقد رأينا بعضاً من هذه الاستعمالات في الانتقال المبتكر في صالة عرض تورينو (شكل ٣٢٧) . وقد قدمت محاولات في نفس الاتجاه في (الأشكال من ٣٤٠ إلى ٣٤٣) .

وهكذا فإنه باستعمال القطاعات والرفع على أعمدة واستغلال بلاستيكية الخرسانة يمكن استغلال المنشأ المقلد المزدوج الانحناء لتغطية فراغ مرن مفتوح ، إلا أن المرونة تقف أمام الامتداد الرأسى المحدود بالسقف القشري ذاته ، ولو أنه من الممكن إدماج عدة طوابق تحت أى من هذه الصدفات كما في صالة معهد ماساشوستس للتكنولوجيا التي وُضع تحت سقفها القشري قاعتان ومسرحان واحداً فوق الآخر (شكل ٢٨٩) .

الصدفات المزدوجة الانحناء
(المنحنيان مختلفا في الإشارة) :

الصدفة من هذا النوع ليست مغلفة للفراغ . وهي قد تكون صدفة دورانية على شكل (زنبقة الصباح) واستعمالاتها المعمارية قد تأخذ شكل العمود المشروى ذى القلب المصمت أو المجوف والسقف الدائرى البارز . وقد نظم فرانك لويد رايت صفوفاً من هذه الأشكال لتغطية مسطحات واسعة ذات باكيات متكررة في مبنى الإدارة لشركة جونسون واكس (Johnson Wax) في راسين بولاية وسنكسن (شكل ٣٤٤) . ويمكن لشكل « زنبقة الصباح » كوحدة قائمة بذاتها أن يستعمل في مظلات المتزهات والحدائق . وبغلق المحيط الخارجى يتكون فراغ واحد ذو مسقط دائرى وخدمة مركزية حول وداخل الأسطوانة الداخلية . وقد اقترحت الأشكال المرفقة عدة حلول لمخططات بتزين وحظائر طائرات (شكل ٣٤٥) وصلات عرض وطعام (شكل ٣٤٦) . وقد استعمل المهندس نيرفى تكويناً مثل السابق في مطعم كورسال (قطر ٤٩ قدماً) بليدودى روما (Lido di Roma) بإيطاليا (شكل ٣٤٧) .

والأشكال الدورانية التي تتولد من دوران منحني حول محور رأسى يمكن أن تعطى تكوينات ذات قوة إنشائية وبصرية ، ولو أنها محدودة الاستعمال للمساقط الدائرية أو متعددة الأضلاع . كما يمكن حملها على أعمدة رأسية لإعطاء مسقط مفتوح على مستوى الأرض كما هو الحال في قطاع مرصد سانت لويس بأمريكا (شكل ٣٤٨ ، ٣٤٩) ، حيث رفع المنشأ كله على أعمدة تربطها حلقة شد دائرية . والمنشأ كمغلف خارجى للفضاء احتوى داخله عناصر أهمها المسرح ذو القبة الدائرية . وفي كاتدرائية الجزائر (شكل ٣٥٠) استعمل الشكل الدورانى للتأثير التعبيرى الخارجى والداخلى . وقد تصرف المهندس

في المسقط الأفقي بحمل المنشأ على أعمدة ضخمة على مسقط متعدد الأضلاع مع التصرف في الحوائط الخارجية بإبرازها على الأعمدة وتغطية الزيادات بأسقف متكسرة تتقابل مع السقف الدوراني وتكون له قاعبة على شكل أهرامات مدببة متناقضة مع الجسم الدوراني الأوسط .

ومن الأشكال الدورانية الشبيهة بشكل زنبقة الصباح القنبو الحلقي (Annular Vault) وهو ذو فائدة في الوحدات المعمارية الدائرية أو المضلعة القائمة بذاتها (شكل ٣٥١). ويتسع مجال هذه الأشكال إلى حد بعيد باستعمال المستويات المقاطعة على المحيط الداخلي والخارجي (شكل ٣٥٢) .

ومن الأشكال المزدوجة الانحناء التي انتشرت استعمالها المعمارية في مجالات واسعة شكل القطاع الزائدي المكافئ . وقد توسع المعمارون في التصرف به في مساقط متنوعة ذات استعمالات متعددة ، وما شجع على ذلك مزاياه الإنشائية والتنفيذية السابق تأكيدها . وهو في أبسط أشكاله كوحدة مستقلة محملة على هيكلين على شكل قطاع مكافئ وجانبيين على شكل قطاع زائدي على الأرض مباشرة أو مرفوعين على هياكل على شكل قطاع مكافئ . ومن الأمثلة الأولى لهذا الاستعمال مبنى معمل الأشعة الكونية بالجامعة بمدينة مكسيكو الذي بناه المهندس كاندلا . والعقدان في هذا المعمل يبعد أحدهما عن الآخر ٥ أمتار وبجرهما ١٠ أمتار وسمك السقف ٨ بوصة (شكل ٣٥٤). وقد وفر هذا السمك الصغير إمكانية قياس الأشعة من داخل المبنى . وقد استعمل كاندلا القطاع الزائدي المكافئ على الأرض مباشرة في كنيسة لاس لاموس (Las Lamos) في كويرنافاكا (Guernavaca) بمكسيكو (شكل ٣٥٥) .

الوحدات الطويلة من القطاع الزائدي المكافئ والتي يتحرك فيها قطع مكافئ صغير سلبي الإشارة على آخر طويل موجب الإشارة يمكن استعمالها كوحدات أسقف مزدوجة الانحناء ذات بحر طويل . وقد انتشر استعمالها كوحدات مصبوبة على الموقع ووحدات جاهزة لبحور بلغت عشرين متراً في تشيكوسلوفاكيا (شكل ٣٥٦) ، كما تعرف هذه القطاعات الجاهزة باسم طريقة سيلبركوهل (Silberkuhl) في ألمانيا^(٩) .

كما يمكن تحميل القطع الزائدي المكافئ على أربع من رؤاسمه المستقيمة ، وفي هذه الحالة يأخذ مسقط الرؤاسم شكلاً معيناً أو مربعاً . والهيكل الخيطي على الرؤاسم الطرفية ينقل الأحمال عن طريق إجهادات انضغاط محورية إلى الركائز . وقد انتشر استعمال وحدات منفردة من هذه الأسقف لتكسية صالات أو كنائس تركز على نقطتين ، ويرتفع الطرفان الآخران إلى أعلى كما في مشروع كنيسة سنيورا دلا سوليداد (Senora de la Soledad) في مكسيكو ، ويغطيها سقف زائدي مكافئ من تصميم المعماري

لامورا وشركاه والإنشائي كاندلا (١٩٥٦-١٩٥٧) ، وقد اشتهر كاندلا بتصرفاته في هذا المجال . وفي هذا المثال يرتكز السقف على الركنين المتقابلين ، بارزاً من طرفيه البعيدين محققاً النهاية الدراماتيكية عند الطرف البارز إلى أعلى بدون أعمدة فوق المذبح ، والسقف متزن بصليب خرساني عند المدخل (شكل ٣٥٧ ، ٣٥٨) .

كما يمكن تنسيق هذه الوحدات في مجموعات لتغطية مسطحات ذات مساقط مربعة أو معينة أو متعددة الأضلاع . وبالتحرر من المحيط الخارجي للسقف يمكن إقامة حوائط غير حاملة دائرية أو على شكل قطاع ناقص أو حرة (شكل ٣٥٩) لاستيفاء المساقط المعمارية المطلوبة . ونقطة الارتكاز في هذه الحالة متباعدة قد تصل إلى ٢٠٠ قدم ، كما في مشروع المطعم ونادي العشاء في لونج بيتش (Long Beach) بكاليفورنيا (أشكال من ٣٦٠ إلى ٣٦٢) . هذا المشروع يستخدم سقفاً رشيقاً مكوناً من ثلاثة قطاعات زائدية مكافئة متزنة ترتكز على ثلاث نقط ارتكاز ، وقد صممه المعماريان ريمون ورادو (Antonin Raymond & Rado) والإنشائيان ويدلنجر وسالفادوري . ومن الأمثلة الناجحة في هذا التكوين مطعم ليس مانانتياالس (Les Manantiales) بمكسيكو (سنة ١٩٥٨) الذي يغطي مسطحاً دائرياً بنصف قطر ١٦ متراً مستعملاً ثمانى وحدات بسمك ٤ سم ترتكز على ثمانى نقط ارتكاز (شكل ٣٦٣) . والمحيط الخارجي للدائري مغطى بالزجاج (شكل ٣٦٤) . ولتكميل الاستمرار الداخلى والخارجى امتدت أرضية الجرائيت من داخل المطعم إلى التراس الخارجى .

وباستعمال مجموعات متوازنة من هذه الوحدات المرتكزة على نقطتين ، والمرتفع أحد طرفيها عن الآخر ، أمكن الوصول لأسقف دراماتيكية في كنيستين بمكسيكو من تصميم المعماري لامورا وشركاه والإنشائي كاندلا ، إحداهما كنيسة سان جوزيه أوبريرو (San José Obrero) ذات المسقط المعين (شكل ٣٦٥ ، ٣٦٦) والمغطى بوحدين ، والأخرى بكنيسة سانت فنسنت (St. Vincent) ذات المسقط على شكل نجمة مثلثة (أشكال من ٣٦٧ إلى ٣٧٠) . والسقف مغطى بثلاث وحدات تشترك في ثلاث نقط ارتكاز وتشغل المقاعد فروع النجمة والمذبح مركزها . وفي كنيسة ثلاثة سان أنطونيو دى لوس هيورتاس (San Antonio de los Huertas) (شكل ٣٧١) استعملا ثلاث مجموعات كل منها يتكون من أربع وحدات بينها فتحات للإضاءة الطبيعية . ويمكن استغلال القطع الزائدى المكافئ للحصول على وحدات ذات بروزات كبيرة لاستعمالها في السقيفات الكابولية أو الصدفات العاكسة للموسيقى . وقد برع فيلكس كاندلا في هذه الاستعمالات ، ومنها عاكسة موسيقى في المشروع الإسكانى للهيئة

المكسيكية للتأمين الاجتماعى التى صممها المعماري ماريو پانى (Mario Pani) وهى تبرز ٤٠ قدماً وتتكون من ستة قطاعات تبدأ من الأرض رأسية وتنتهى على طرفها أفقية (شكل ٣٧٢) . كما نفذ كاندلا مشروعاً لعاكسة موسيقى المدرسة فى جوادالاجارا (Guadalajara) (شكل ٣٧٣) مستعملاً قطاعات زائدية مكافئة تبرز ١٠٠ قدم :

ويعتبر استعمال القطع الزائدى المكافئ لتكسية الباكيات المربعة ، أو المستطيلة باستخدام مجموعة من أربع وحدات من أكثر استعمالاته انتشاراً ومن أوسعها فى الإمكانيات . فمن الممكن أن تغطى مجموعة من أربع وحدات مرتكزة على أربع ركائز مسطحة مستطيلاً كما فى صالة مدخل محال ماى - د ، ف (May-D & F) فى دنفر بولاية كولورادو ، حيث غطت مسطح ١١٢ قدماً $131 \times$ قدماً على ركائز مائلة مفصلية (شكل ٣٧٤) . كما يمكن بالاستعمال المتكرر لهذه المجاميع فى مسقط ذى باكيات واسعة الوصول إلى تكسية اقتصادية لباكيات المصانع والمخازن . وقد استخدمه المهندس كاندلا بتصرفات فى عديد من أسقف الأسواق والمخازن والمصانع . فى مصانع هيرديز (Herdez) بمدينة تاكوبا (Tacuba) بمكسيكو (شكلي ٣٧٥ ، ٣٧٦) استعمل كاندلا تكويناً مماثلاً لما سبق أن رأيناه فى مصانع المطاط بمدينة برنماور مع استبدال القباب الانتقالية بمجموعات من أربع وحدات زائدية مكافئة . وقد نظم كاندلا المجموعات بحيث تبعد الواحدة عن الأخرى مسافة تكفى لاستغلال جوانب المجموعة للإضاءة وقد استعمل أعمدة ذات أربعة فروع لحمل أركان كل أربع مجموعات متجاورة .

وباستعمال عمود أوسط ومجموعة من أربعة قطاعات كابولية ينتج حل مرادف يعطى إمكانية للإضاءة العلوية الشمالية ، وذلك عن طريق إمالة الوحدات . وقد صادفت هذه التكوينات استعمالات متعددة فى المباني الصناعية والمعارض وخلافها . وقد استعملها كاندلا بكثرة ، ومن أبرزها صالات للأسواق بمكسيكو (شكل ٣٧٧) وسقف مصنع لاميكس (Lamex S. A.) فى بونتي دى فيجاس (Puepte de Vigas) بمكسيكو (شكل ٣٧٨) فى مجموعات مائلة بأبعاد (١٠ م \times ١١ م) و (٨,٦٢ م \times ٢٠ م) . والصدفة فى الحالتين بسمك ١,٦ بوصة، وتصريف الأمطار من كل مجموعة يتم خلال ماسورة فى العمود الحامل لها .

التكوينات المعمارية بالأسطح الفعّالة مفردة الانحناء والمستوية.



الوحدات مفردة الانحناء :

الوحدات المزدوجة الانحناء السابق بحثها في الفصل السابق أقوى من زميلاتها المفردة الانحناء غير أنها تتطلب شدة أكثر تعقيداً ، الأمر الذي تعادله المميزات الإنشائية الناتجة . وهي بطبيعتها كوحدات مزدوجة الانحناء تتناسب مع المنحنيات في المسقط الأفقي والقطاع ، إلا إذا عدلت بالتعديلات السابق بيانها . والوحدات المفردة الانحناء ، ولو أنها أقل متانة ، إلا أنها تهين في أغلب صورها سقفاً مناسباً للفراغات ذات الأضلاع المستقيمة . وهي كوحدات إنشائية تحتفظ بمزايا الاستمرار الهندسي والمادي في اتجاه واحد . وبانحنائها المفرد تكون مغلفة جزئية للفراغ تاركة الجزء غير الإنشائي من الغلاف الخارجي للتشكيل حسب المطالب المعمارية المختلفة . هذه التكوينات تكون منحنية إما في المسقط الأفقي وإما في القطاع .

تهين القبوات القصيرة المفردة الانحناء سقفاً لفراغات واسعة البحور (حوالي ١٠٠ متر) ذات ارتفاعات كبيرة . وباستعمالها متكررة يمكن تغطية مسطحات كبيرة بلا حدود . وكلما تعددت مرات التكرار كان استعمالها اقتصادياً . ومن مميزات هذا الإنشاء الفراغ الداخلي الواسع ذو السقف النظيف ، الأمر الذي لا يتوافر في الأسقف الجمالونية الحديدية . هذه القبوات القصيرة تعطى سقفاً مستوياً بدون أى عوائق وخاصة في حالة استعمال الأعصاب المقلوبة . ولهذا الأسباب ، بالإضافة إلى أفضليتها عن الصلب في مقاومة الحريق ، ازداد الاتجاه إلى استعمالها عالمياً في حظائر الطائرات وجراجات الأتوبيسات والمصانع والمخازن ، وقد استعملت في أكبر البحور المقاومة للحريق (١٠٥ أمتار) في حظائر طائرات الجيش الأمريكى بمدينة رابيدستى بولاية داكوتا الجنوبية وفي مدينة لايمستون بولاية مين (شكل ١٩٨) . وفي هذه الاستعمالات تصبح الواجهة الأمامية والخلفية للقبو مفتوحة ببحرها الواسع لدخول وخروج مشتملات المبنى الكبيرة من طائرات وخلافه ، كما تكون مجالا للإضاءة والتهوية . والفراغ الداخلي الناتج من بلا حدود يترك حراً أو يقسم أفقياً أو رأسياً لاستيفاء مطالب معمارية واسعة .

وبعد الأعصاب إلى الأرض مع وقف الصدفة على مستوى مناسب يمكن زيادة المرونة على مستوى الأرض على جانبي الفراغ الناتج ، كما يمكن تلافي الفراغات الجانبية المائلة للأسقف المحدودة الارتفاع . وبهذا الترتيب يمكن عمل حوائط جانبية رأسية مع إضافة سقف أفقي على جانبي القبو مع فرصة عمل إضاءة علوية رأسية جانبية في الحوائط الرأسية أو عند تقابل القبو والسقف الأفقي . وهناك احتمال لضم المسطح الجانبي الناتج للفراغ الأوسط أو فصله للاستعمالات المتخصصة كالخدمات والصيانة والمكاتب ، على دور واحد أو دورين حسب الطلبات المعمارية . وقد استعملت هذه المساحة الإضافية

ذات السقف المنخفض لعمل مدرجات النظارة في مسرح ذكرى الحرب لأوننداجا كاوتني (Onondaga County) في مدينة سيراكيوز (Syracuse) بولاية نيويورك^(١). وفي تنسيق آخر في المحطة الجوية البحرية للساحل الشرق الأمريكي رفعت الأعصاب والصدفة على هياكل بارتفاع دورين شغلتهما غرف الصيانة والمكاتب^(٢). كما أمكن تغطية مسقط دائري لمعرض ماشية بمدينة مونتهجرى بولاية ألاباما باستعمال صدفات قصيرة متكررة (شكل ٣٧٩). وقد تبعت الصدفة ذاتها المسقط الدائري تاركة الأعصاب لتستمر حرة إلى الأرض. كما حقق وقف الصدفة القصيرة في سوق كولونيا بألمانيا إضاءة الصالة على مستويين رأسيين وإلى إضافة صفين من الحجرات على الجانبين (شكل ٣٨٠).

وبتقاطع قبوات أوضاعها في مجموعات تزداد قوتها وتتوسع استعمالاتها، والاقتراح في (شكل ٣٨١) المكون من ٣ مجموعات من أسقف قشرية قصيرة يصلح لحظيرة طائرات تتسع لثلاث طائرات في نفس الوقت. كما أن تقاطع قبوين عمودين يكون أسقفاً (Groined Vaults) نفذت بكثرة بالخرسانة الرومانية. وبالخرسانة المسلحة ستتوسع إمكانيات هذه التقاطعات. ومن أوائل استعمالاتها الحديثة في صالة مطار سانت لويس بولاية ميسوري للمهندسين ياماساكي ولاينوبر (Yamasaki, Ieinger) (أشكال من ٣٨٢ إلى ٣٨٤). وقد أتاح شكل السقف فرصة تكراره في ثلاث مجموعات مهيأة بحوائط زجاجية من جميع الجهات بالإضافة إلى إضاءة علوية بين كل مجموعة وأخرى (شكل ٣٨٥). مثل هذه القبوات المتقاطعة استعمالها المعماري لامورا في كنيسة بيوريزيما (Purissima) بمدينة مونترى مورا (Monterry Mora) بمكسيكو. وينتظر لمثل هذا التكوين استعمالات أخرى لم تأخذ مجالا للتنفيذ بعد (شكل ٣٨٦). ومن الممكن أن تستعمل أقبية الأفنية المتقاطعة (cloister vaults) على باكيات كبيرة مربعة ممتدة في الاتجاهين في الصالات الواسعة للتصنيع والتخزين والعمل وغيرها (شكلي ٣٨٦ ، ٣٨٧). وقد استعملت مثل هذه الوحدات في مخزن المنتجات المصنعة لشركة دنلوب في هاناو (Hanau) بألمانيا.

والقبوات الطويلة تصلح لتسقيف باكيات متكررة عرضياً ومستمرة طولياً، والمهم أن يقرر المصمم طول القبو وعرض الباكيات. وقد يشمل البحر المطلوب صفّاً واحداً أو عدة صفوف علماً بأن إمكانية هذه القبوات قد تصل إلى محور حوالى ٦٠ متراً وعروض حوالى ١٥ متراً^(٣)، وأن النسبة بين البحر وعرض الباكية تتراوح من ٢ : ١ إلى ٤ : ١. وفي الحالة الأخيرة يلزم وجود عصب ساقط عند تلاقى الأقبية المتكررة. وهناك قطاعات مختلفة لهذا النوع من القبوات منها المتماثل وغير المتماثل، وذلك لاستيفاء الاحتياجات الانتفاعية والإنشائية المختلفة (أشكال من ٣٨٨ إلى ٣٩٣). ومن القطاعات المتماثلة قبوات مطعم الموظفين بشركة

ماى وبيكر (May & Baker, Ltd) بمدينة داجنهام (Dagenham) بإسكس بإنجلترا (شكل ٣٩٤). والمطعم يحتوى على خمس باكيات عرضها ٨ أمتار وطولها ١٥ متراً، وتبرز القبوات متراً ونصف متر عن أعصاب التقوية . وقد اتصلت الباكيات بمنحني مستدير بحيث أصبح الشكل النهائى سقفًا موجيًا بمنحنيات كبيرة وصغيرة متتابعة (شكل ٣٩٥) . وقد استعملت قبوات طويلة لتغطية صالة التمرينات للبحرية الملكية بمدينة ديل (Deal) بمقاطعة كنت (Kent) بإنجلترا (شكل ٣٩٦). ولطول البحر استعملت أعصاب بين الباكيات، وتركزت فتحات علوية فى السقف القشرى بخلاف الفتحات الجانبية لزيادة الإضاءة فى وسط القاعة (شكل ٣٩٧) .

ويزيد احتمال سبق تجهيز القبوات الطويلة بالإمكانات العملية لاستعمالها المتكرر اقتصاديًا حتى بالنسبة للبحور الصغيرة : والطريقة السابق شرحها للمعماريين سولانو وأورتيجا لسبق تجهيز قبوات طويلة وتحميلها على هياكل خطية سابقة الصب أو حوائط حاملة ، استعملت بكثرة فى كولومبيا وأمريكا اللاتينية . ومن هذه الاستعمالات وحدات السكن الاقتصادى فى بوجوتا التى استعملت كثيراً من هذه الأشكال مفردة (شكلى ٣٩٨ و ٣٣٩) أو فى مجموعات (شكل ٤٠٠) . ونفس القبوات الجاهزة استعملت فى أنواع أخرى من المباني ومنها مصنع لبان كلارك (Clarks Chicle) فى بوجوتا بكولومبيا. حيث استعملت مجموعة من هذه القبوات سابقة التجهيز محملة على هياكل ذات كابولين منحنيين على الجانبين (أشكال من ٤٠١ إلى ٤٠٤) . وقد استعمل المهندس القارو أورتيجا (Alvaro Ortega) نفس التكوين فى مصنع بلوكات خرسانية فى بوجوتا .

تسبب الفتحات الأفقية فى جسم السقف القشرى للمصانع والمعارض إضاءة ركيكة مع احتمال دخول أشعة الشمس وتجمع الأتربة على السطح الزجاجى . ولتوفير الإضاءة العلوية الشمالية المناسبة بالسقف القشري يمكن استعمال وحدات مفردة الانحناء غير متماثلة مائلة بحيث يكون الفراغ الشمالى بين كل باكيتين شريطاً أفقيًا للإضاءة . والطريقة التقليدية هى استعمال قبوات مستندة على صفوف من أعمدة متكررة، وطول الباكية فى هذا التكوين هو بحر السقف الأسطوانى كما فى مركز (I.C.T.) فى وانارلويد (Wanarlwydd) بمقاطعة سوانسى (Swansea) (شكل ٤٠٥) . وقد استعملت فى سقف مصنع وستلاند (Westland) لأعمال المطاط بمدينة لنداو (Lindau) بألمانيا باكيات ببخر ١٥ متراً وعرض ١٠ متر (شكل ٤٠٦) . وقد تمتد أطوال الباكيات إلى أربعين متراً وعرض ١٠,٥ أمتار كما فى مصنع ترايف انترناشنال (Triumph Int.) بمدينة ريجنزبيرج

(Regensburg) . . . وتقاوم إجهادات الشد في البحور الواسعة بسبق الإجهاد كما في المثل السابق أو باستغلال الفتحات ذاتها كجمالون فيرنديل بقوائم رأسية بين الشبايبك . وقد يلجأ المعمارى إلى توسيع عروض الباكيات بين الأعمدة بحمل القبوات على جمالون عرضى مفتوح يشمل ثلاث أو أربع قبوات متتالية . بهذه الطريقة تمكن المهندس فرايتاج (F. Freitag) من عمل باكيات ٢٤ متراً \times ٢٢ متراً بلون أعمدة في مصنع ويير وأوت (Weber & Ott. AG) في مدينة فورشهيم (Forchheim) بألمانيا (شكلى ٤٠٧ ، ٤٠٨) .

وقد استعمل في بولندا عام ١٩٥٨ قطاع جديد للقبوات ذات الإضاءة البحرية ، وذلك في مصنع نسيج في مدينة كاليس (Kalisch) (شكلى ٤٠٩) . والقبوات ذات قطاع مقعر ذى عمق لإنشائي أكبر من القطاع المحدب ، وبالتالي ذو قوة أكبر . كما وفر هذا القطاع مكاناً أكبر أمام الشبايبك بحيث يتفادى تجمع المياه والثلج قريباً من السطح الزجاجى (شكلى ٤١٠) . كما قلل هذا القطاع الحجم الداخلى المطلوب تكييفه وأعطى سقفاً داخلياً ناعماً . وقد استعملت في هذا المصنع باكيات مربعة أبعادها ٣.١٥ م \times ٣.٠ متراً (أشكال من ٤١١ إلى ٤١٣) كما استخدمت كمرات لحمل القبوات المقعرة في الاتجاه العرضى . والقبوات صنعت من وحدات سابقة التجهيز عرضها ٤ أقدام ، ١١ بوصة اتصلت ببعضها بواسطة الإجهاد اللاحق بواسطة أسياخ حديدية مرت داخل أعصاب الوحدات المجهزة . وقد أمكن استعمال القبوات المخروطية (Conoids) كوحدات طويلة في تصميم مسرح مدينة تالاهاسى (Tallahassee) بولاية فلوريدا (شكلى ٤١٤ ، ٤١٥) حيث استعملت مجموعتان من أقنية مخروطية لتكوين سقف على شكل مروحتين متقابلتين في الوسط حيث تم تحميلها بحبال شد من عقد على شكل قطع مكافئ ومن الطرفين على أعمدة خارجية . وبهذا التنسيق تمكن مكتب «المعماريون المتعاونون» (Architects Collaborative) من تسقيف صالة وسطى دائرية محاطة بمجموعتين من المدرجات على شكل مروحة على الجانبين .

الأشكال السابقة مفردة الانحناء في قطاعاتها الرأسية . وهناك أسطح مفردة الانحناء في قطاعها الأفقى ومن هذه التكوينات الأشكال الدورانية الأسطوانية الرأسية ، وجميعها لها ميزة الاستمرار المادى والهندسى في مقطعها الأفقى مما يعطيها قوة ومتانة بالإضافة إلى إمكانيات الإجهاد اللاحق . وقد استعملت الأسطوانات بكثرة في الخزانات الكبيرة التى أنشأتها شركة بريلاود لحزن وترشيح المياه وتحليل المجارى وتخزين الكيماويات والبتروول . كما انتشر استخدامها في مجموعات في صوامع الغلال المنتشرة في أمريكا

وأوروبا وأقيم منها اثنتان في القاهرة والإسكندرية (شكل ١٢٨) . ولما تمتاز به هذه الأسطوانات من قوة ذاتية كركائز رأسية استخدمت كمعصب لإنشائي داخلي في الأبراج العالية تبرز منها الأدوار المتكررة كما في برج المعامل بمقر شركة جونسون واكس بمدينة راسين بولاية وسكنسن حيث تبرز الأرضيات مسافة خمسة أمتار حول القلب المركزي الذي يحملها (شكل ٤١٧ - ٤١٨) . والتجويف الداخلي لهذه الأسطوانات يمكن استغلاله لعناصر التوزيع الرأسى والخدمة . وفي الأبراج العالية استخدمت الأشكال المسلوكة المفردة الانحناء كغلاف خارجى . ومن أشهر هذه الاستعمالات برج التليفزيون في ستتجارت بألمانيا (٦٩٢ قدمًا) . والأسطوانة نفسها كما صممها المهندس المعماري هارى كيل (Harry Kale) وشركة بريلود والإنشائي الدكتور ليونهاردت (Dr. Leonhardt) (ترتفع إلى ٥٠٠ قدم) وتحمل ستة طوابق بارزة تحتوى مطعمًا ومطبخًا وغرف صيانة وإرسال ودوراً للمرافق (شكل ٤١٩، ٤٢٠) . والبرج بصورته الحالية يقابل بالحرسانة المسلحة برج أيفل الحديدى . وللأشكال المخروطية السابقة مجال للاستعمال كمحائط خارجى حامل فى المباني المتعددة الطبقات ، كما يجدر استكشاف إمكانياتها فى المدرجات المائلة للاستادات الرياضية .

الحاجة للفراغات الفسيحة الحالية من أى عوائق أظهرت الحاجة إلى التكوينات الإنشائية السابقة ولكن التكاليف الباهظة للشدات المنحنية ، وبالأخص فى الولايات المتحدة ، دفعت التطور إلى مجال القبوات المسنمة أو المنطبقة ، وقد ورد من قبل ذكر استعمالها منحنية فى الاتجاه الطولى . وقد انتشر استعمالها كأسقف أفقية لما يحققه من وفر أكبر فى الشدة بمقارنتها بالقبوات المنحنية . وقد استعملت هذه الوحدات فى الولايات المتحدة لبحور تتراوح من ١٥ متراً إلى ٤٠ متراً بتكاليف يمكن أن تقف منافسة للأسقف ذات الباكيات العادية . ومن هذه التطبيقات أسقف محلات سيرز وروباك (Sears & Roebuck) فى مدينة تامبا (Tampa) بفلوريدا (شكل ٤٢١، ٤٢٢) ، وهى تتكون من وحدات مسنمة ذات بحر ٤٠ متراً وعرض تسعة أمتار . والمحلات تشتمل على صاليتين خاليتين من الأعمدة تبلغ أبعاد كل منهما ١٢٥ متراً طولاً و ٤٠ متراً عرضاً . كما استعملت الوحدات فى تغطية صالة بولنج كلوفرفيل لينز (Glover Leaf Lanes) بميامى بفلوريدا ببحر يقرب من بحر الصالة السابقة (٤٠ م) وطول ٩٥ متراً . كما استعملت بارزة لمسافة ٣٠ متراً من الجهتين من طرفى جزء أوسط للخدمات فى حظيرة طائرات الخطوط الجوية الأهلية فى ميامى بفلوريدا (شكل ٤٢٣) . وقد اقترحت الهيئة العامة للتصنيع بالجمهورية العربية المتحدة استعمال مثل هذه الوحدات للتسقيف الاقتصادى للمنشآت الصناعية فى باكيات ذات

محور من ثمانية إلى ثلاثة عشر متراً وعروض من خمسة إلى سبعة أمتار ونصف بمتوسط سمك خرسانة السقف والأعمدة من ١١ سم إلى ١٢ سم لكل متر مربع من المسقط الأفقي ، ومتوسط نسبة الحديد للمتر المكعب من الخرسانة من ١٠٠ كجم إلى ١٢٠ كجم.

وفي مجال استعمال هذه الوحدات في المباني المتعددة الطبقات تقدم المهندس الإنشائي بويد أندرسون

(B.G. Anderson) باقتراح لاستعمال ثنية عمقها ٣ أقدام وسمكها ثلاث بوصات ونصف بوصة تمتد عبر البحر المحصور بين الحوائط الخارجية للخرسانية الحاملة^(٤) (شكل ٤٢٤). ويحقق هذا الاستعمال مساحات واسعة متكررة خالية من الأعمدة والحوائط الداخلية الثابتة، وبذلك تتحقق المرونة التامة للمباني المكاتب المتعددة الطوابق . ويسمح الوزن الخفيف لمثل هذا التصميم بتعليق المباني الخرسانية عن الحد الممكن الآن بالخرسانة المسلحة ، كما تهيئ الثنيات ممرات تصلح لمواسير التدفئة والتكييف والتوصيلات الكهربائية وغيرها من خطوط التغذية (شكل ٤٢٥) .

أما الأسقف المنطبقة المثلثة القطاع فقد شاع استعمالها في الأسقف الاقتصادية للمباني العامة والخاصة لباقيات متكررة ذات محور من ٨ إلى ١٢ متر ، وعروض من ٤ إلى ٥ أمتار لما تحققه من وفرة في الشدات . وتزداد قوة الانطباقات بتداخلها في اتجاهات مختلفة الأمر الذي ينتج عنه تعددها وصغر مسطحاتها المستوية المعرضة لعزوم الانحناء . وقد استغل المكتب الهندسي الأمريكي ياماسكي ولاين ووبر (Yamasaki & Leinweber) هذه الوحدات السابقة الصب في السقف الكابولي للمركز الرئيسي للجمعية الأمريكية للخرسانة في دترويت (شكل ٤٢٦ ، ٤٢٧). ويبرز السقف المكون من صفين من الانطباقات المتداخلة من جهتي حائطين مكونين لطريقة التوزيع الوسطى ، وبذلك ترك الحائطان الجانبيان خاليين من الأعمدة بتاتاً ، وقد نفذوا بكاملهما من الزجاج من فوق الجلسة إلى السقف الخرساني . كما استعمل المكتب المذكور هذه الوحدات في سقفي مبنى مالك جريجور (Mc. Gregor) التذكاري بجامعة ولاية وين (شكل ٤٢٨) . وفي توزيع آخر استعملت الأسطح المنطبقة المثلثة في سقف مطعم وحمام سباحة بلويزيانا بأمريكا لتغطية صالة بحرها ١٢ متراً ، وطولها ٣٠ متراً . وقد قسم الطول إلى خمس باقيات وكل باقية تغطيها ثلاث وحدات طولية (شكل ٤٢٩). وقد حملت هذه الانطباقات في نهايتي البحر على كمرات تصل الأعمدة بعضها ببعض ، والسقف يبرز عن الحائط الزجاجي بمترين من الطرفين . وفي مشروع على درجة عالية من الكفاءة الإنشائية استعمل المهندسون بروير وزيرفوس ونيرفي قطاعات منطبقة مثلثة القطاع في أسقف وحوائط صالة الاجتماعات بمقر هيئة اليونسكو بباريس (شكل ٤٣٠).

والقاعة على شكل شبه منحرف تنقسم إلى بحرين (٣٩,٦٠ متراً و ٢٦,٧٠ متراً) . والأسقف المغطى للبحر الواسع تقوى انطباقاته بلاطة منحنية في مناطق إجهادات الانضغاط . والأسقف المنطبقة احتمالات عديدة أخرى في التسقيف للبحور الكبيرة والصغيرة أوردنا بعضاً منها في (شكل ٤٣١) .

وكما تستغل الانطباقات الأفقية في الأسقف فإنها تكون حوائط منطبقة ذات قوة كبيرة ، وقد استعملت مثل هذه الحوائط والأسقف في الكنيسة اليابانية للربان البندكتين لدير سانت أنسيلم (Anselm) بطوكيو التي وضع تصميمها المعمارى الأمريكان ريموند ورادو (أشكال ٤٣٢ إلى ٤٣٤) . وقد تركت مسافات للإضاءة الرأسية بين وحدات الحوائط المتجاورة . كما استعملها المهندس اليابانى كنزو تانجى (Kinzo Tange) في حوائط صالة اجتماعات بمدينة شى - زيوكا (Shi-Zuoka) (١٩٥٣-١٩٥٤) . وكرر استعمالها سابقة الصب على شكل حرف (V) الإنشائى الفرنسى لافاي والمعمارى جويلوم (Guillaume) في عدة كنائس وحظائر طائرات ومحطات سكك حديدية بفرنسا ويوغوسلافيا (شكل ٤٣٥) .

والبلاطة المتكسرة يمكن استخدامها كوحدة مستقلة أو في وحدتين متقاطعتين لتغليف فراغ ذى مسقط مستطيل أو مربع (شكل ٤٣٦) . ومن الأمثلة الناجحة لهذا الاستعمال كنيسة الصليب المقدس في سيدونا (Sedona) بولاية أريزونا التي صممها المعمارى أنشن وألن (Anshen & Allen) والإنشائى روبرت دوويل (Robert Dowell) (شكل ٤٣٧ ، ٤٣٨) . والكنيسة مغلقة بحوائط خرسانية مائلة سمكها ١٢ بوصة مكونة مع السقف المائل هيكلًا مسطحًا مستمرًا .

الأسطح المستوية : الأشكال المزدوجة والمفردة الانحناء لا يتناسب شكلها مع تكرار الاستعمال الرأسى في أسقف المباني المتعددة الطبقات ؛ وهى بطبيعتها تغلف الفراغات الكبيرة المفردة . غير أن الغالبية العظمى من الفراغات المعمارية ليست هى الفراغات المفردة ، بل الفراغات الصغيرة المتكررة أفقيًا ورأسيًا ، سواء أكانت للإسكان ، أم للعمل ، أم للدراسة . وهذه قد تكونها مستويات فعالة أفقية ورأسية طولية أو عرضية تحدد فيما بينها فراغات مكعبة متكررة (شكل ٤٣٩) . والحوائط العرضية العمودية على الواجهة تكون فواصل للفراغات ، وتضع حدوداً على مرونة واستمرار المساقط . وهى فى ذروة كفايتها إذا كانت مستمرة وعلى أبعاد متساوية وعمودية على واجهة المبنى . غير أن بعض التعديلات ممكنة إذا ما اضطر إليها المعمارى انتفاعياً (شكل ٤٤٠) ، فمن الممكن - ولدرجات محدودة - عدم استمرار الحوائط وتكسيها أو استعمالها مع أعمدة إذا كانت هذه التعديلات لازمة معمارياً . والحوائط الخارجية فى هذه الحالة

غير خاملة وبإمكانيات غير محدودة للفتحات اللازمة للإضاءة والتهوية . وللوصول إلى مرونة داخلية أكبر يصمم الغلاف الخارجى كسطح فعال حامل للأسقف مع كمّرات وأعمدة داخلية . وفى هذه الحالة يلزم اختراق الغلاف الخارجى الفعال لتوفير الفتحات الخارجية اللازمة . وقد استعملت هذه الطريقة فى مجموعة مساكن هوت بوينت (Hotpoint) فى حى هاى جيت (Highgate) بلندن (شكل ٤٤١) . ويصلح كلا التوزيعين السابقين للمساكن ذات الوحدات المتلاصقة (Row Houses) والوحدات السكنية المرتفعة والفنادق ومباني المكاتب ومثيلاتها ، والمنشآت ذات الطول الكبير والعرض الصغير (Slab Type) . أما المساقط المربعة فهى ذات احتياجات خاصة بالنسبة لحوائطها الحاملة ، وقد عرضنا من قبل الطريقة التى استنبطها المهندسان المعماريان أوليجى وأوليجى (Olgyay & Olgyay) والإنشائى بلاكيس (Bela Kiss) للإنشاءذى الخلايا (Cellular Construction) باستعمال حوائط إنشائية مقواة بجوانب عمودية حسب احتياجات المسقط لمعمارى . هذه الطريقة تلائم المساكن العالية والمنخفضة (شكل ٢٤٣) . وقد استعملت حوائط من قواطع بسمك يتراوح بين ٢ و ٣ بوصات ذات نهو خارجى خاص فى عمارة ذات ثمانية طوابق ببودابست^(٥) . وفى هذه الطريقة يستغل الفراغ أقصى استغلال بحذف الأعمدة والكمّرات غير المرغوب فيها والتى كانت تشغل أركان أو منتصف الحجرات . ونتيجة لاستعمال سقف ذى أعصاب فى الاتجاهين أصبح من غير الضرورى وجود القواطع الحاملة على استقامة واحدة . هذا وقد وصلت البحور المتغيرة بين القواطع إلى ثمانية أمتار كحد أعلى .

وهناك حلول أخرى للأبراج المتعددة الطبقات باستعمال القلب الإنشائى المسطح . وقد رأينا استعمال فرانك لويد رايت لهذا المبدأ فى معامل جونسون بقلب مكون من عدة أسطوانات خرسانية . أما فى تصميمه لبرج برايس (Price) بمدينة بارتلز فيل (Bartles Ville) بأوكلاهوما فقد استعمل قلباً إنشائياً من أربعة مستويات رأسية حاملة مكونة لحوائط داخلية متعامدة ، ومنها تبرز الأدوار المتكررة بحيث أصبحت الحوائط الخارجية غير حاملة (شكل ٤٤٤ - ٤٤٥) . كما صُمم مبنى المكاتب الرئيسية لشركة كولومبيا البريطانية فى مدينة فانكوفر (Vancouver) بكندا على أساس قلب إنشائى خرسانى يحوى المصاعد والسلالم وناقلات البريد والمواسير والأنابيب الضرورية . ويحمل هذا القلب أغلب حمل أسقف المكاتب (شكل ٤٤٦) ، كما يقوم بدور هام فى مقاومة الرياح التى يتعرض لها مثل هذا المبنى العالى . وكما سبقت الإشارة فى الفصل الثالث دخل سبق التجهيز مجال الإنشاء بالحوائط والبلاطات الفعالة . وقد استكشفت احتمالاته المعمارية فى المباني السكنية التعليمية والصناعية . وسبق التجهيز من طبيعته أن

يفرض قيوداً على حرية المصمم على درجات متفاوتة، وهنا يجب أن نفرق بين معمارى المصنع - مصمم النموذج الأصلي - وبين معمارى الموقع الذى يختار بين النماذج والمنتجات المتاحة له ما يناسب احتياجات وظروف مشروع خاص . فالأول يتأثر بطبيعة الصناعة والإنشاء الجاهز وبإمكانات النقل ، فيحاول أن يصل إلى التصميم الذى يتطلب أقل عدد ممكن من الوحدات مع أكبر عدد من احتمالات التغيير والتصرف على الموقع لاستيفاء أوسع احتياجات انتفاعية وجمالية . وهو يقدر أن كبر الوحدة الجاهزة يقلل فرص التغيير أمام معمارى الموقع . ففي الوحدات الكاملة التصنيع كالمستعملة فى الاتحاد السوفييتى مثلاً، تأثر المصمم لنوع منها بطريقة الصناعة والتركيب (شكل ٩٨) فكون المسقط ذو الثلاث الشقق من باكيات ثابتة العرض والطول . والطابق الواحد يتكون من وحدتين كل منها غرفتان ودواليب ، ووحدتين كل منها غرفة وحمام ومطبخ وتواليت ووحدة حمام ومطبخ وتواليت وسلم . وقد كانت النتيجة واجهة عبارة عن صندوق مقسم إلى مربعات فى وسطها فتحة كبيرة للغرف وصغيرة للمطابخ والسلالم . ومن الطبيعى أن فى المجموعة السكنية المنفذة بالكامل من هذه الوحدات الجاهزة ستكون احتمالات التنوع والتغيير معدومة بالنسبة لمسقط الشقق وعدد الغرف والشكل العام للمجموعات السكنية . وعلى معمارى المصنع والموقع فى هذه الحالة إدخال تغييرات فى نهو الأسطح وفى ارتفاعات المجموعات وفى طرق توزيعها على الموقع مع تلافى وضعها فى صفوف متراسة ، الأمر الذى يلغى أى شعور بالفراغ والشخصية ويحولها إلى ثكنات متراسة . ومن الطبيعى أنه كلما تعددت أنواع الوحدات الكاملة الجاهزة اتسعت أمام معمارى الموقع فرص الاختيار والتنوع .

واتجاه طريقة الإنشاء والصناعة إلى تصغير الوحدة الجاهزة إلى باكية من الحائط أو السقف يحرر معمارى المصنع نسبياً من قيود الصناعة . وعلى هذا المستوى يجد أمامه عدة طرق إنشائية يختار منها ما يناسبه لينبئ عليها تصميمه ؛ فقد يحمل الأسقف على الحوائط الداخلية العرضية المتعامدة على الواجهة . وهنا يجب أن يرتبط بباكيات ثابتة وحوائط عرضية مستمرة على خط واحد (شكل ٨٥) . وتتوافر فى هذا التصميم حرية كاملة فى عمل الحوائط الخارجية من مواد خفيفة غير إنشائية فيقدم منها لمعمارى الموقع ليختار بينها أو ليقمها بنفسه على الموقع بمواده الخاصة . وأمام معمارى المصنع أن يحمل السقف على الحوائط الخارجية وأحد الحوائط الداخلية الطولية . هذا التوزيع يوفر حرية فى تنسيق الحوائط العرضية الفاصلة بين الحجرات ، ولو أنه ينقص من الحرية فى التصرف فى الحوائط الخارجية على أساس طبيعتها الفعالة التى تتطلب فتحات صغيرة فى وسط الباكيات . وقد يستغنى المصمم عن

الحائط الطولي الأوسط ويستبدل به أعمدة وكمرات جاهزة داخلية تصل بينها حوائط غير حاملة . مثل هذا التصميم يحدد إمكانية الأعمدة ، إلا أنه يعطى لمعماري الموقع حرية التصرف في الحوائط الداخلية باستعمال بانوهات جاهزة خفيفة الوزن .

وبتصغير حجم الوحدة الجاهزة إلى بانوهات للحوائط والأسقف ذات عروض مرتبطة بمعدلات جزئية من المعدل الإنشائي العام يمكن لمعماري الموقع أن يتصرف بحرية أكبر في مساقطه مرتبطة بالمعدلات الجزئية والإنشائية . وكلما تنوعت مقاسات المعدلات الإنشائية اتسعت مجالات التصرف لمعماري الموقع ؛ فقد تراوح بحور بانوهات الأسقف مثلاً من باكية واحدة (٣,٠٠ م إلى ٤,٠٠ م) إلى باكيتين . وكلما اتسعت بحور هذه البانوهات ، سواء حملت على الحوائط الطولية أو العرضية ، تحرر المسقط المعماري داخل حدود مواقع الحوائط الحاملة . والفتحات الخارجية في هذه الحالة ترتبط بالمعدل الجزئي ومضاعفاته . ويلزم توفير بانوهات جاهزة لباكيات الفتحات بما فيها الجلسات والأعتاب . وقد استعملت طريقة (JU-60) في يوغوسلافيا باكية مكونة من ٤ بانوهات (١ م × ٢,٦٠ م وملك ١٢ سم) ، وبذلك تكون أبعاد الوحدة الأساسية - ٤ م × ٤ م . وهذه الوحدة تكون حجرات المعيشة والنوم ووحدة المطبخ والحمام بقواطيع داخلية (شكل ٤٤٥ ، ٤٤٦) . ومع أن صغر حجم البانوه سبب كثرة اللحامات إلا أنها أعطت لمهندس الموقع حرية أكبر في معالجة الواجهات . وفي تصميم آخر استعملت نفس الطريقة بانوهات للأسقف بطول ٦,١٠ م . وعلى هذا المعدل وضعت الحوائط الحاملة في اتجاه عرضي ، وبذلك سمحت المسافة بين كل حائطين حاملين لوضع وحدة سكنية كاملة كما هيأت الحوائط الحاملة عازلاً بين كل وحدتين . أما الحوائط الفاصلة بين الحجرات فهي غير حاملة من مواد خفيفة الوزن مرنة التوزيع (شكل ٤٤٧) .

ويتضح من الأمثلة السابقة أن لطريقة سبق التجهيز في المصنع تأثيراً في المساقط الناتجة ؛ فهي تفرض البساطة والتوحيد في الأشكال والمقاييس ، كما أنها تتطلب وحدات مستقيمة مستوية . حيث إن الحوائط المستوية أسهل في الصب والرفع والإمالة . كما يتطلب سبق التجهيز حوائط بفتحات صغيرة إذا كانت جزءاً من الوحدة المصبوبة ، حيث إن الفتحات الكبيرة تضعف الوحدة أثناء رفعها . وإذا لزمَت الفتحات الكبيرة فمن المستحب أن تترك بين البانوهات كفراغات تملأ فيما بعد بشبابتك بالارتفاع الكلي أو بتريعات زخرفية .

وبالجمع بين سبق التجهيز الجزئي في المصنع أو الموقع لوحدات صغيرة ذات معدل ثابت وبين

الصب على الموقع* تتوافر نسبة أكبر من الحرية لمعماري الموقع لأنه سيكون المتصرف في مقاسات الوحدات مرتبطاً بالمعدل الثابت للوحدة الجاهزة الصغيرة (شكلي ٤٤٨ ، ٤٤٩) . هذه الوحدات الثابتة هي البلوكات الخرسانية الجاهزة للحوائط والبلوكات المتكررة للأسقف . وأطوال الكمرات الجاهزة بالموقع والحاملة للبلوكات المتكررة ، وبالتالي الأبعاد بين الحوائط - سواء أكانت طولية أم عرضية - أطوال حرة انتفاعية لا ترتبط إلا بمعدلات عروض بلاطات الأسقف المتكررة التي قد تراوح من ١٥ إلى ٣٠ سم في الاتجاه الطولي .

وعلى العموم لا يعتبر الارتباط بمعدل إنشائي لبائية أو باكيتين أو بمعدل جزئي كعرض بانوهات الحوائط وبلوكات الأسقف ضاراً بالعمارة ، بل هو تنظيم أساسي (Order) لعملية التصميم المعماري . فبجانب النظام الانتفاعي يؤكد الارتباط بمعدلات ثابتة إنشائية أو أجزاء منها وحدة قياسية وشكلية للعمل المعماري كله ، كما يضمن نسباً سليمة على أساس حسابي (Arithmetical proportion) . وبانتشار هذه الطريقة وتصغير المعدلات وتنويع تشطيبات الأسطح تتعد احتمالات المساقط وتتحول الطريقة إلى ميزة بدلا من أن تكون نقمة معمارية ، إذ سيتوافر عن طريقها تحسين مستوى التنفيذ والخدمات من أسطح وأرضيات وأعمال صحية وكهربائية مع حرية أكبر في الاختيار والتنويع وسرعة فائقة في التنفيذ .

الاتجاهات السابقة للإنشاء الصندوقي بالحوائط الحاملة سواء باستعمال وحدات جاهزة أو بالصب على الموقع تفرض وجود أسطح رأسية مستمرة أفقياً ورأسياً على باكيات ومعدلات ثابتة ، وفي هذا تقييد لحرية التصميم وتحديد لأنواع الفراغات الناتجة . فالمستوى الفعال بين فراغين يمنع استمرارهما كما يحدد فرص التخيير المستقبلية في أحجام الفراغات ، الأمر الذي قد يصلح في مباني الفنادق مثلاً ولا يصلح انتفاعياً في مباني المكاتب والعمارات السكنية حيث يتطلب الانتفاع مرونة واسعة وإمكانات حرة غير محدودة . وهنا يكون الإنشاء الهيكلي بالأعمدة والبلاطات الحاملة ضرورياً ومثالياً . مثل هذا الإنشاء قد يتم عن طريق سبق التجهيز باستعمال أعمدة جاهزة مستمرة بين دور وآخر تحمل كمرات جاهزة وبلاطات للأسقف مع توفير التماسك عن طريق خرسانة تصب على الجميع . وقد تستعمل حوائط خارجية حاملة مع الأعمدة الداخلية ، وذلك لضمان متانة الإنشاء وتماسكه .

* راجع الفصل الثالث بالنسبة لتفصيلات هذا الاقتراح .

وقد سبق لنا أن تعرضنا في الفصل الثالث لنوع من سبق التجهيز على الموقع بالبلاطات والأعمدة وهي طريقة البلاطات المرفوعة على أعمدة حديدية أو خرسانية مستمرة : هذه الطريقة ولو أنها لا تربط المعمارى بمعدلات لوحدات جاهزة إلا أن طبيعة الإنشاء والتشغيل تضع بعض القيود على التصميم المعمارى . فاستمرار الأعمدة من طابق لآخر هو ضرورة إنشائية ، كما أنه من الأفضل وضع الأعمدة على محاور واحدة في الاتجاهين . ومن الضروري الاحتفاظ بشكل خارجى منتظم للبلاطة وذلك لانتظام عملية الرفع الآلية . كما أننا نجد أن بروز البلاطات عن الأعمدة الخارجية هو مظهر أساسى فى البلاطات المرفوعة تتطلبه ضرورة إحاطة الأعمدة ببلاطة خرسانية صماء من جميع الجهات . ومن النتائج المعمارية لهذه الطريقة تفادى وجود فتحات فى البلاطة كالسلام والمصاعد بجوار الأعمدة . وقد سبقت الإشارة إلى ضرورة تقسيم الأسقف بحيث تكون أعمدة كل قسم فى حدود ٣٦ عموداً ، وهو العدد الأقصى إلى الآن لتشغيل روافع تحت تابلوه رفع واحد .

وفى الإنشاء العادى المصبوب على الموقع يمكننا أن نصل إلى المرونة الأفقية الشاملة فى المسقط مع الاستمرار الهندسى والمادى فى البلاطات الفعالة ، وذلك بتحميلها على أعمدة خطية على معدلات تتمشى مع المسقط العام . وهنا يلزم نقل أحمال البلاطات إلى الأعمدة عن طريق كمرات ساقطة بما فيها من تشويه لاستمرار السقف وتداخل فى سريان الإضاءة ومواسير التغذية والتكييف وصعوبة فى عمل الشدات . وقد تنقل الأحمال عن طريق رؤوس أعمدة مشرومية مع حذف الكمرات ، وهنا تتصل الأعمدة بالأسقف بمنحنى مستمر . مثل هذه الأعمدة تستعمل بكفاية لتحمل أسقفًا تتعرض لأحمال ممتدة عالية ، وذلك على باكيات كبيرة فى الاتجاهين (حوالى ٦ أمتار) كما فى الجراجات والمخازن ونحوها . واختفاء سقوط الكمرات فى هذا الإنشاء يوفر فى الارتفاعات الصافية للطوابق ، كما يسهل مرور مواسير التغذية والتدفئة ونحوها . وقد قابلنا استعمالات لها فى كثير من المخازن التى صممها مايار وهى تعتبر من أوائل استعمالاتها المعمارية (شكل ١٧١) . والأعمدة قد تأخذ رؤوساً على أشكال مختلفة ومنها الرأس المخروطى على أعمدة أسطوانية بزوايا مختلفة وهو قطاع شائع فى الولايات المتحدة ، وقد استعمل فى مصانع (Fisher) للطائرات فى ولاية أوهايو على بواكى ١٥ متراً من المحور إلى المحور . كما استعمل مايار أعمدة مثنىة فى مخزن الحبوب الفيدرالى فى التدورف بسويسرا (شكل ١٧٢) . وجميع هذه الأعمدة تأخذ شكلاً انسيابياً مع السقف إلا فى حالات الأحمال الثقيلة ، فإن الرؤوس تأخذ شكلاً

هرميًّا كما في مصنع السادة بوٲس (Boots) للأدوية في مدينة بيستن (Beesten) بإنجلترا (شكل ٥٨٧، ٥٨٨). وقد تلغى هذه الرؤوس الحرسانية تنهيلا للشدات مع استبدالها بموزع للأحمال من الصلب يدفن في البلاطات والأعمدة ذاتها، وهنا ترتكز بلاطات على أعمدة خطية ارتكازاً مباشراً نقيّاً بسيطاً في مساقط ذات باكيات منتظمة وفي فراغ مستمر مفتوح أفقيّاً ومحدود رأسيّاً بالبلاطات المتناسكة المستمرة.

٩

التشكيلات المعمارية بالوحدات الخطية

كلما قلّت وظيفة الإنشاء كمغلف للفراغ اتسعت إمكانيات التفتيح والتغيير الخارجى . وفى المباني التى تتطلب مثل هذه الصفات فإنه من الأوفق الالتجاء إلى الإنشاء الخطى بالخرسانة المسلحة المغلف بوحدات غير فعالة مع ما فى هذا التكوين من نقص فى الكفاية الإنشائية . مثل هذا الإنشاء أسهل من ناحية إمكانيات التشييد وأطوع لعمليات سبق الصب والإجهاد ، الأمر الذى يبرر استعماله للبحور الصغيرة أو المتوسطة ، ذات الطابع المتكرر المرن .

الوحدات الخطية المنحنية :

بالإنشاء الخطى يمكن الوصول إلى تكوينات خطية مستمرة راسمة للفراغ وذلك بتقاطع أضلاع دائرية مكونة لقباب هيكلية (قباب شويدلر وزايس دويداج والقباب الجيوديسية) مغلفة ببلاطات سابقة الصب خفيفة الوزن . هذه البلاطات تحذف وتحل محلها فتحات زجاجية فى أى موضع على المسطح الكروى وبأى مسطح مطلوب دون تأثير فى قوة المنشأ وتماسكه .

ومن الأمثلة المبكرة لاستعمال الإنشاء الهيكلى فى الأشكال الدورانية قبة صالة العرض المثوية (Centenary Hall) فى برسلاو بألمانيا (شكل ٤٥٠) ، وقد استغل هذا الإنشاء فى عمل صفوف مدرجة من الفتحات الرأسية للإضاءة . ومن الأشكال الدورانية الممكنة بالإنشاء الهيكلى شكل زنبقة الصباح وهى تعطى محيطاً مفتوحاً بالكامل ، وأعمدة داخلية مفتوحة ، بحيث يمكن ضم الفراغ الداخلى إلى الفراغ الخارجى المحيط . وقد أنشئت سقيفة للماكنات بمدينة أفينيون (Avignon) بفرنسا على شكل مظلة مقلوبة بصفيين دائريين من الأعمدة الخارجية والداخلية^(١) (شكل ٤٥١) ، وهى ذات قطر خارجى ٤٣٦ قدماً . وقد استعمل المعمارى الأمريكى ريموند وراود والإنشائيان ويدلنجر وسالفادورى قبة مقلوبة على شكل طبق هيكلى حامل لنفسه ذى قطر ٨٠٠ قدم من أعلى ؛ وذلك للاستناد المقترح لجلوس ١٠٠ ألف متفرج (شكل ٤٥٢ - ٤٥٣) . وفيه تبرز الضلوع الحاملة العرضية مسافة ٥٠ متراً عن القاعدة . هذه الضلوع محملة على حلقات شد دائرية من الصلب ، وبذلك ألغى التصميم الحاجة إلى هيكل أو حوائط حاملة تحت المقاعد وخلت المساحة التى تحت المدرجات لانتظار العربات ، كما ألغيت مسافات المشى البعيدة بين أماكن الجلوس والعربات . هذا وتركز بلاطات سابقة الصب على هذه الهياكل لتهيئ أماكن للجلوس (شكل ٤٥٤) . ومن المهم ملاحظة أن استعمال هذا الإنشاء الخطى سيسمك من إنشاء الاستاد على مراحل . وقد اشتمل التصميم على أربع مراحل تزداد عدد المقاعد مع كل مرحلة (شكل ٤٥٥) .

الهياكل الدورانية السابقة تناسب المساقط الدائرية أو البيضاوية . وهى باستمرار هياكلها الرأسية أو

الأفقية أو الاثنين معاً تعطى هياكل قوية رشيقة وخلافاً مفتوحاً . وللمساقط المستطيلة يمكننا استعمال العقود المتكررة بأشكالها ذات القطاع المكافئ أو الناقص أو الأسطوانى . وقد استعملها نيرفى متقاطعة على شكل لامبلا لتغطية ست حظائر طائرات فى إيطاليا (شكل ٤٥٦) ، وقد كان سبق صب وحدات الجمالون الخطية من ميزات بعض هذه الحظائر . وقد توافرت فتحات كبيرة عند مستوى الأرض باستعمال هياكل فراغية تتلقى الدفع الجانبى من القفص المشابك وتنقله إلى دعائم ضخمة مائلة .

ومن أهم مميزات العقود الهيكلية إتاحة أكبر مقدار ممكن من الإضاءة مع أقل عائق لإنشائى فوق وعلى مستوى الأرض . وقد رأينا من قبل استعمال بيريه لعقود دائرية فى مصانع ملابس إسدير عام ١٩١٩ (شكل ٥٣) . والعقود هنا تحمل كميات أفقية وهذه تحمل سقفاً زجاجياً أفقياً بكامل مسطح الفناء الداخلى المسقوف . ونظراً لعيوب هذه الإضاءة الأفقية فقد تطور هذا الاستعمال ليهيئ إضاءة رأسية بين أسقف أفقية خرسانية مدرجة ومحملة على الهيكل المنحنى . وقد انتشر ذلك الاستعمال فى صالات المعارض والساحات الرياضية والأسواق التجارية . ومن أمثلة ذلك الاستعمال فى حمام السباحة فى نورثهامبتن بإنجلترا وكنيسة سانت جان بابتست (St. Jean-Baptiste) فى مولينبك (Moolenbeck) ببروكسل ببلجيكا (شكل ٤٥٧) . ونحو تطور آخر فى الإضاءة العلوية استعملت عقود غير متماثلة للإضاءة الرأسية الشمالية فى مطبعة دبدن (Debden) بإيرلندا (شكل ٤٥٨) . والعقود المستعملة ذات البحر البالغ أربعين متراً نفذت بعمق ٣ أمتار . وقد بولغ فى هذا العمق للإقلال من البريق الناتج عن هذه الإضاءة الشمالية القوية .

والهياكل الخرسانية الخطية المنحنية ذات فوائدها معمارية كبيرة فى تركيزها الإجهادات الحاملة فى نقط محدودة فى المسقط والقطاع . ومن أهم استعمالاتها فى التطور الإنشائى الحديث استعمالها كوحدات انضغاط للأسقف المعلقة . وقد صادفنا من قبل استعمالها كحلقة انضغاط دائرية لأسقف معلقة ذات قطر بلغ ١٠٠ متر فى إستاد المعرض الصناعى بمدينة مونتفيدو بأورجواى (شكل ١٤٥) وفى سقف عجلة الدراجة المعلق للصالة الدائرية بقطر ١١٠ أمتار للجناح الأمريكى بمعرض بروكسل سنة ١٩٦٠ (شكل ٤٥٩ ، ٤٦٠) . ويقدر الإنشائى ليف زتلن (Lev Zetlin) مصمم السقف المعلق للصالة الاجتماعات البلدية لمدينة يوتيكا (Utica) بولاية بنىويورك بحورا تزيد على ١٨٠٠ قدم لمثل هذا النوع من الأسقف فى المسارح والاستادات والمتاجر والمصانع (٢) .

ولتفادى الاهتزازات فى الأسقف المعلقة تتخذ هذه الحلقات الخطية الخرسانية أشكالاً بيضاوية

غير مستوية (Skew Ring) . وهي بهذا الشكل تحمل سقفًا معلقًا على شكل القطاع الزائدى المكافئ ذى الانحنائين المتضادين . وقد استعمل هذا التكوين فى صالة الاجتماعات بمدينة كاراسروه بألمانيا (شكل ٤٦١) . كما يتكون مثل هذا السقف المعلق باستعمال هيكلين مائلين متقاطعين على شكل القطاع المكافئ وقد رأينا أمثلة منها فى ساحة مدينة راليه بولاية كارولينا الشمالية. (شكلى ٤٦٢ ، ٤٦٣) وفى صالة اجتماعات الكونجرس ببرلين الغربية (شكلى ٤٦٤ ، ٤٦٥) من تصميم المعمارى هيوج ستابنز (Hugh Stubbins) والإنشائى فرد سيفرود (Fred Severud) .

كما يمكن استعمال عقد مكافئ أوسط كحامل لسقفين معلقين متزينين على جانبيه . والسقفان على شكل القطاع الزائدى المكافئ مرتكزان بين العقد وبين حوائط منحنية جانبية كما فى حلقة التزحلق على الجليدى فى جامعة ييل (شكل ٤٦٦) . وقد اقترح المهندسان سيفرود وكوربيليتى (A. Corbelli) تصميمات لأسقف معلقة باستعمال عقود خرسانية^(٣) ، ومنها اقتراحهما لسقف مرتكز على عدد من عقود ذات القطاع المكافئ والمنتهىة بعقدتين مائلتين على الجانبين . مثل هذا السقف مناسب للمساحات الرياضية وحلبات السباق وغيرها من الصالات الكبيرة .

ومن الممكن حمل أسقف مسطحة على عقود رأسية أو مائلة (شكلى ٤٦٧ ، ٤٦٨) . هذه التكوينات شائعة فى تصميم الكبارى فى أوربا . فالكوبرى السويدى على نهر أنجر منالڤ (Angermanalv) فى مدينة هامر (Hammar) يتكون من أربعة أزواج متتالية من العقود ، بحر كل منها ٢٦٣ قدمًا تحمل الطريق المعلق (شكل ٥٥٨) . واستعمال مثل هذا التكوين فى العمارة اقتصر على فراغات ذات دور واحد ، واحتمال استعمالها فى طبقات متكررة ما زال ينتظر محاولة عملية (شكل ٤٦٩) . وفى هذه الحالة يمكن صب البلاطات على الأرض الواحدة فوق الأخرى ، ورفعها بواسطة الكابلات الحاملة إلى مواضعها النهائية . مثل هذه الفراغات تتميز بحرية داخلية كاملة .

ويشكل سبق التجهيز أقوى العوامل التى تشجع على استخدام العقود الثلاثية المفصلات ذات البحور الصغيرة أو المتوسطة . ومصابغ النقل هى التى تحد من بحور هذه القطع المصبوبة فى المصنع . وقد ظهر نوع من هذه الهياكل فى إنجلترا (شكل ٤٧٠) ببحر لم يزد على ٤٠ قدمًا بسبب النقل . غير أن الصب على الموقع ثم الإقامة لمثل هذه الهياكل قد يزيد إمكانيات البحور إلى ١٥٠ قدمًا . وفى الولايات المتحدة استعملت عقود سابقة الصب ثلاثية المفصلات ذات بحر ٧٥ قدمًا فى جمنيزيوم مدرسة واشنطن كارفر (Washington Carver) فى ميامى بفلوريدا^(٤) . وفى مجال الإسكان ظهرت

أنواع ومقاسات مختلفة للهياكل الجاهزة في المصنع ، ومنها هياكل منزل في نوكس فيل (Knoxville) ببحر ٢٧ قدماً ، وهي تحمل بلاطات جاهزة (شكل ٤٧١) . وقد تطورت أشكال أخرى في أمريكا (شكل ٤٧٢) ويشتمل (شكل ٤٧٣) على احتمالات أخرى في نفس الاتجاه :

وعموماً يتجه سبق التجهيز للهياكل بالتصميم إلى الأشكال البسيطة بتغييرات ضئيلة في الارتفاع . وهو يحدد مقاسات المباني بما يقدمه المنتج . وكلما توسع هذا الإنتاج بزيادة المطلوب اتسعت دائرة الاختيار . كما يمكن أن يحرر المصمم نفسه من قيود هذه الهياكل بفصل الإنشاء عن الحوائط الفاصلة غير الحاملة . هذه الوحدات واسعة الاستعمال في المباني المتعددة الأدوار حيث تصبح المرونة المطلقة عنصراً هاماً في التصميم . وفي هذه الحالة قد تصب البلاطات مع الأعمدة أو تتكون من بلاطات سابقة الصب ترص فوق الهيكل الإنشائي . مثل هذه الطريقة ولو أنها تفقد الاستمرار المادي بين الأعمدة والكمرات والبلاطات إلا أنها توفر المرونة كاملة في الاتجاهين الأفقي والرأسي لاحتمالات التغيير المستقبل ، الأمر الذي لا يتوفر بالبلاطات المستمرة . هذا الإنشاء الهيكلي بالصلب والخرسانة أصبح رمزاً للإنشاء المعماري الحديث .

الوحدات الخطية المستقيمة :

والامتداد الرأسى هو خاصية مميزة لاستعمال الخرسانة المسلحة في الإنشاء الهيكلي . فالعمود الخرساني عنصر رأسى مستمر مادياً تتفرع منه الكمرات في وحدة متكاملة . غير أنه من الممكن في هذا الإنشاء لأغراض انتفاعية حذف مجموعة من الأعمدة في دور من الأدوار كالدور الأرضي مثلاً للحصول على بحور واسعة وذلك باستعمال جمالونات فيرنديل* (شكل ٢٢٣) .

وتمتاز الخرسانة المسلحة عن غيرها من المواد الإنشائية في مجال الأعمدة بإمكانيات تشكيلها الواسعة لخدمة أغراض التصميم المختلفة . فالأعمدة الخرسانية على أشكال دائرية أو أشكال القطاع الناقص تكون أقل عائق مادي وبصرى (شكل ٤٧٤) . وقد رأينا من قبل استعمال بيريه للأعمدة الاسطوانية المسلوكة إلى أسفل في متحف الأشغال العامة بباريس . وقد كان هدفه زيادة قطاع العمود عند اتصاله بالسقف الخرساني . وقد اتجه نيرثي في نفس الاتجاه في مشروعه لخطة السكك الحديدية بمدينة نابلي^١ حيث استعمل أعمدة صليبية يزيد مقطعها إلى أعلى لتتحد مع سقف لاملا أفقى (شكل ٤٧٥، ٤٧٦) . والخرسانة تتيح إمكانات لتشكيل الأعمدة لتقلل أحمالها إلى الأرض بأيسر السبل ، فهي

* يتكون الحائط الخارجى بمبنى بنك الأمة (Bank of the Nation) في بيونس آيرس بالأرجنتين من جالون فيرنديل خرساني من أربعة أدوار ذو بحر ٨٣ قدماً ، وقد أمكن بهذا الاستعمال الوصول إلى مسقط أرضى مفتوح لا تشغله إلا أعمدة النواصي الخارجية^(٥) .

تشكل لتستقبل الأحمال وتميل في اتجاهاتها لنقلها إلى الأرض بأقل جهد ممكن (شكل ٤٧٦) . وهى تتصل ببعضها وتندمج من فرعين أو ثلاثة أو أربعة لتصل إلى الأرض في نقط مركزية وبهذا تعطى أقل عائق مادي على مستوى الأرض . مثل هذا التكوين يوفر بحوراً أوسع ، وقد استعمله نيامير في مبنى الزراعة بريودي جانير و (شكل ٤٧٧) ، وفي عمارته بحى هانزا ببرلين .

وبجانب الإمكانات الواسعة في تغيير مسطح الأعمدة الخرسانية فمن الممكن تغيير اتجاه عزم القصور الذاتي بين قاعدة العمود الخرساني وقمته بحيث يستقبل العمود الأحمال الواقعة عليه وينقلها إلى الأساسات في أنسب الأوضاع والاتجاهات . وقد استغل نيرفى هذه الإمكانية بنجاح في الأعمدة المحيطية المائلة الحاملة لقبة قصر الرياضة الكبير في روما (شكل ٤٧٨) .

مثل هذه المرونة في التشكيل متوافرة بالنسبة للكمرات الخرسانية أيضاً ، فهذه يمكن تفتيحها أو تفريغها لمرور أنابيب أو مواسير التكييف أو التدفئة ونحوها ، كما يمكن تشكيلها على شكل جمالون غير ندبل لزيادة قوتها مع تخفيف وزنها . هذه الجمالونات بفتحاتها الكبيرة وضلوعها الرأسية تجعل من الممكن أن تكون الجمالونات أدواراً كاملة تتخللها فتحات النوافذ الخارجية والأبواب الداخلية .

ولطبيعة الخرسانة المساحة نجد أن الأعمدة الخرسانية قد تصل إلى أحجام كبيرة إذا ما تعرضت لأحمال ثقيلة وخاصة في المنشآت العالية ، وهى الحالة التى قد تتداخل مع استعمال الفراغ . ويمكن تلافي ذلك باستعمال الأعمدة المركبة (Composite columns) المكونة من قطاعات من الصلب الإنشائي والخرسانة . ولحفة وزن هذه القطاعات الإنشائية أمكن في عمارات كوارى هل (Quarry Hill) بمدينة ليدز (Leeds) بإنجلترا إنشاء هيكل ذى ثمانية طوابق من قطعة واحدة . وقد وفر ذلك الهيكل إقامة الشدات الغالية الثمن اللازمة للخرسانة المصبوبة على الموقع ، وبذلك اجتمعت ميزات تماسك واستمرار الإنشاء الخرساني مع سهولة إقامة الصلب .

وبدخول سبق الإجهاد مجال الكمرات الخطية المستمرة أمكن الوصول إلى البحور الكبيرة بالإنشاء الهيكلى المستمر بأعماق قليلة نسبياً . ففي مجال إنشاء « الكبارى » استعملت طريقة فريتز ليونهاردت ووصلت لنسبة عمق إلى بحر تقارب نسبة الصلب (شكل ٢٠٥) . والاستعمال المعماري لهذه الطريقة سيزيد بحور الباقيات الاقتصادية ويقلل من أعماق الكمرات الخرسانية . مثل هذه الباقيات والأعماق ستكون ذات تأثير انتفاعي واقتصادي كبير في التصميم المعماري :

الإنشاء بالعمود والكمرة :

تقسيم الهيكل الإنشائي الخرساني إلى وحدات صغيرة خفيفة منفصلة يسهل عملية سبق تجهيزه وإجهاده ، كما يسهل عملية تجميعه على الموقع ، ولو أنه يقلل من كفايته الإنشائية . وهذا جائز في المباني المؤقتة ذات الدور الواحد حيث الأحمال قليلة والبحور صغيرة وضغط الهواء ضئيل . وقد وصلت بعض هذه الطرق مثل طريقه سيمنستون (Cemenstone) إلى بحور بلغت ١٧ متراً . وللبحور الأكبر يفضل استعمال الجمالونات السابقة الصب كبديل للكمرات الثقيلة . وهذه من الممكن سبق إجهادها للوصول لقطاعات أخف . وقد وصلت هذه الجمالونات الجاهزة في ألمانيا لبحر ٣٠ متراً .

وقد اتسع أخيراً استعمال سبق الإجهاد لإنتاج الكمرات والتطريجات والبلاطات التي تتركز على الأعمدة ارتكازاً بسيطاً . ورغم فقدان ميزة الاستمرار والتماسك المادي في هذا الإنشاء فإن كفاية سبق الإجهاد ما زالت تؤكد نفسها في إنتاج أسقف غير عميقة خالية من الشروخ . وقد غطيت صالة مساحتها ٢٤٠٠٠ متر مربع في مصانع سافارين (Savarin) في باليسيد بارك (Palisade Park) بنيوجيرسي بكمرات جاهزة سابقة الإجهاد (شكلي ٤٧٩ ، ٤٨٠) ذات قطاع على شكل « I » وعمق ٣٠ بوصة وبأطوال مختلفة . وهي تحمل استرياحات وحشوات تكسية للأسقف سابقة الصب .

ومن الاستعمالات الحديثة لسبق الإجهاد في العمارة استغلاله لتحقيق الاستمرار للوحدات الصغيرة السابقة الصب لتكون وحدة إنشائية متماسكة . وهذا الأسلوب الذي استخدمه فريسينيه في كباريه ذات الكمرات الصندوقية (شكل ٢٠٤) اقترحه المهندس كوف للمباني المتعددة الطوابق ، وهو اقتراح جدير بالتطبيق العملي حيث يكون حذف الشدات ذا تأثير اقتصادي كبير^(٦) . فن بلاوكات خرسانية متجاورة مجمعة بالإجهاد اللاحق يمكن إنشاء بانوهات متراصة الواحدة بجوار الأخرى بدون استعمال شدات بتاتاً . مثل هذا الاستعمال يجمع الوفرة الناتجة عن إلغاء الشدات مع سبق الإجهاد وما يوفره في كميات الحديد والاستمرار الموجود في الكمرات المصبوبة على الموقع .

الإنشاء بالعمود والعتب يتعارض مع طبيعة الخرسانة المسلحة . غير أنه من الجائز استعماله في حالة المنشآت المؤقتة الجاهزة حيث يتطلب الاستعمال الفك وإعادة التركيب كمنشآت التخزين أو انتظار السيارات والسكك الحديدية أو الأسوار . وفي جميع هذه المنشآت تحل الخرسانة محل الإنشاء الخشبي حيناً تقل الأخشاب وتتواجد مكونات الخرسانة ، وحيث تتطلب الأحوال مادة مضادة للحريق دائمة لا تتطلب صيانة مستمرة كما هي الحال في المنشآت الخشبية . مثل هذه المنشآت الصغيرة النائية التي لا تستدعي تعقيدات إنشائية سوف تجد في أقدم طرق الإنشاء ، منفذة بأحدث المواد الإنشائية ، حلاً مناسباً بسيطاً لا يستدعي أي تعقيدات إنشائية .

السّطح والشّكل الجمالي

لا يكمل أى تحليل معمارى إلا إذا شمل مناقشة للجانب الجمالى . ومع أن محتويات الفصول الثلاثة السابقة هى جزء لا يتجزأ من المظهر الجمالى لعمارة الخرسانة المسلحة فإن المناقشة فيها تركزت على عوامل الكفاية الإنشائية والاقتصادية واستعمال الفراغ لسد حاجات انتفاعية مختلفة ، والآن حان الوقت لكى نرى كيف أوحى الخرسانة المسلحة ، وفى بعض الحالات فرضت تكويناتها الأصيلة ، وكيف خلقت لغتها الجمالية الخاصة .

ولغرض تحليل مكونات العمل الفنى وتأثيرها فى التجربة الجمالية سيقوم العرض التالى فى الفصلين القادمين بفحصها على مستوياتها الثلاثة ذات الأعماق المختلفة ، وهى مستويات السطح والشكل والتعبير أو الموضوع . هذه المستويات متداخلة ؛ بمعنى أن الشكل يتكون من مجموعة مسطحات ، والموضوع أو التعبير ينتج عن تنظيمات معينة فى السطح والشكل الفنى .

وعلى الرغم من أن جميع مستويات الاستمتاع الجمالى متداخلة ، دون استثناء لمسائل الموضوع الفنى ذاته ، فإننا لغرض الدراسة التحليلية سنفحص المستويات المختلفة كلاً على حدة لدراسة احتمالاتها بالخرسانة المسلحة ، وسنرى مدى تأثير الواحدة على الأخرى .

وسنخصص الفصل الحالى لدراسة الاستمتاع البصرى بالسطح والشكل تاركين التعبير الموضوعى للفصل القادم .

السطح الجمالى : (Aesthetic Surface)

السطح الجمالى فى العمارة هو الخاصية الجمالية التى يعرضها العمل المعمارى للمشاهد الذى يكتفى بالنظر إلى السطح دون أن يتعمق فى الإنشاء أو الغرض أو علاقة الموضوع بالعالم الخارجى . والحواس التى تتدخل فى الاستمتاع بالسطح الفنى المعمارى هى حاسة البصر وحاسة اللمس . واللون واللمس هما المتغيران فى أيدي المعمارى للتصرف فى السطح الجمالى الناتج .

هذا وقد اتجهت العمارة فى النصف الثانى من القرن التاسع عشر نحو غنى السطح عن طريق زخارف وكرانيش وتماثيل الطرز التاريخية السابقة . امتد هذا الاتجاه لفترة محدودة فى القرن العشرين وانتقل عن طريق الفن الحديد إلى الزخارف الخطية باستعمال وحدات نباتية أو هندسية . وكرد فعل لهذه الاتجاهات الزخرفية المقلدة اتجه فنانون ومعماريو اتجاهات التكعيبية والتجريدية (De Stijl) ومن بعدهم الوظيفيون والدوليون إلى الابتعاد عن الطرز التقليدية ، وذلك بإلغاء الدور الجمالى للون واللمس ، واتجهوا إلى استعمال المسطحات المجردة المستوية الملساء . كما استعملوا الألوان النقية

الأساسية لتحديد الفراغ : وامتداداً لهذه الفلسفة ألغوا استعمال الحجارة والطوب المكشوف ، والأخير امتازت به أعمال معاصريهم المهندس الهولندي برلاج ، على أساس أن هذه المواد تعطى أسطحاً ذات ألوان متدرجة ولمساً خشناً غير محدد . كما ابتعدوا عن استعمال الخرسانة المكشوفة التي امتازت بها أعمال بيريه واتجهوا إلى أسطح البياض الناعمة . وما شجع على ذلك أن هذه الكسوة التي يسهل التحكم في ألوانها وأسطحها وزواياها تغطي عيوب المواد والإنشاء الخرساني السريع . مثل هذا الاتجاه يركز على أهمية الشكل العام ويحرم المشاهد من استماع جمالي بالسطح ، وهو جزء لا يتجزأ من الاستمتاع الجمالي الكامل . وككل اتجاه متطرف مصيره إلى الاعتدال والاعتزان ، عاد جزء كبير من المماريين والفنانين ، وبخاصة بعد الحرب العالمية الثانية ، إلى استعادة هذه الحساسة المعمارية الكبيرة واتجهوا تحت تأثير لوكوربوزيه إلى أصالة السطح بما تحمله من إمكانيات في الملمس واللون .

اللون : الاحتمالات المختلفة في الألوان (Hues) تشمل ثلاثة ألوان نقية وهي الأصفر والأزرق والأحمر وبينها ثلاثة ألوان أخرى ، وهي : الأخضر ، والبنفسجي ، والبرتقالي ، وهذه تقع في منتصف الألوان النقية . والألوان الستة الرئيسية يمكن ترتيبها على دائرة الألوان (Hues circle) وهي تمثل سلماً دائرياً متدرجاً في القيمة (درجة الضوء في اللون) من الأصفر إلى البرتقالي ثم الأحمر فالبنفسجي والأزرق ، وهو أقل الألوان قيمة عائداً إلى الأخضر والأخضر المصفر . وفي داخل كل لون تتفاوت القيمة بإضافة الأسود أو الأبيض — فالأسود يخفّضها والأبيض يرفعها ، كما تتفاوت الألوان في الشدة (Intensity) على مقياس من درجات متساوية من محور رمادي محايد خارجاً إلى أكبر تركيز للون . ومن دائرة اللون مع احتمالات تدرجات القيمة والشدة يختار المعماري من إمكانيات واسعة في الألوان .

والتأثيرات المختلفة للألوان على المشاهد كانت ولا تزال محل تجارب عديدة ، وعلى تجارب بولوه (Bullough) بُنيت الاستنتاجات التالية (١) .

الخرسانة المكشوفة غير المعالجة لها لون رمادي مخضر باهت ينتج عن استعمال معظم الأسمنتات التجارية العادية ، وهو لون غير نقي أساسه اللون الأخضر المعتاد ، لأنه لا يظهر أعلى شدة تشبع بأي لون بالذات . وهو لون محايد بالنسبة لتأثيراته الثانوية من ناحية الإثارة (Stimulation) (٢) . ومع أن الأخضر لون متغير أو بالأحرى خفيف الإثارة إلا أنه موجود في الخرسانة بصبغة رمادية ، بعيداً كل البعد عن التشبع الذي ينبغي توافره لتحقيق الإثارة المطلوبة . والحرارة من الصفات الثانوية للألوان ، فالبرودة التي تصاحب استعمال الخرسانة تجعلها غير مقبولة غالباً . وهذا الشعور الذي يلزمها يرجع إلى طبيعة

لونها ؛ فالأخضر لون بارد ، وبخاصة إذا لم يكن مشبعًا ، وهي الحالة التي توجد عليها الخرسانة (٣) .

واستعمال الخرسانة بلونها الطبيعي آخذ في الانتشار ، وكلما زاد ذلك الاستعمال تقبلت الحواس البصرية هذا اللون على طبيعته كالون محايد ، قليل الشدة ، ثابت على مر الزمن ، قليل التأثير بالعوامل الجوية المختلفة من شمس وأمطار وأتربة . وقد أصبح هذا الاستعمال المكشوف — بعد المعالجة اللازمة لزيادة المقاومة ضد الصقيع — مقبولا في كثير من دول أوربا (شكل ٤٨١) وفي أمريكا واليابان (شكل ٤٨٢) .

وقد دفع لوكوربوزيه هذا الاتجاه بالخرسانة دفعة فنية قوية ، وبخاصة بعد تجاربه السابقة بأسطح البياض وما عتراها من تشققات وعيوب نتيجة لعدم تحملها لعوامل الطقس من برودة وحرارة وأتربة ونحو ذلك . وقد اتبعه في ذلك مهندسو الحيل الحديد في اليابان ويظهر ذلك في أعمال المهندس كونيو مايكاوا (Kunio Mayekawa) الذي عمل مع لوكوربوزيه وتأثر به وأهمها مسرح سيتاجويا (Setagoya) ومجموعات هارومي (Harumi) السكنية بمدينة طوكيو ، وأعمال المهندس كنزو تانجي في دار مجلس مدينة كوراشيكي (Kurashiki) (شكل ٤٨٣) .

ومن أهم أسس نجاح استعمال اللون الطبيعي بالخرسانة مراعاة إضافة ألوان أخرى معه على بعض الحوائط أو بطنيات الأسقف أو الأسوار ، وذلك لخلق تكوينات ناجحة باللون تلعب فيها المسطحات الخرسانية دوراً سياسياً . وتسيطر على هذا التقسيم القواعد العامة للتكوين بالألوان . فالخرسانة بلونها المحايد الأخضر — الرمادي قليل الشدة ، إذا ما استعملت في الأعمدة والأسقف والحوائط ، تكون المسطح المتغلب في المبنى . وهي إذا استعملت مفردة بدون ألوان أخرى تكون واجهات ودواخل مينة قليلة الإثارة البصرية ، وهي إذا ما اجتمعت مع مجموعة من نفس اللون مع الاختلاف في الشدة والقيمة تعطى تكويناً مفرد الألوان (monochromatic) . وفي هذه الحالة يكون الاختلاف في الشدة بالنسبة للون الأخضر . مثل هذا التكوين يعطى تأثيراً بالوقار والوحدة والقوة ، ولكنه قد يصل إلى الملل إذا لم يضاف إليه مسطح من لون قريب من اللون المتكامل مع الأخضر ؛ وهو البرتقالي المحمر ، أو الأحمر — البنفسجي ، في مسطح صغير ، وبشدة قوية . وقد يتم التصميم على أساس لونين أو ثلاثة مع المحافظة على البساطة والتنوع ، وفي هذه الحالة قد يكون التكوين متجاوراً (Neighboring colors) باستعمال الألوان المجاورة للأخضر وهي الأصفر المخضر ، أو الأزرق المخضر . وقد يكون التكوين متناقضاً (Contrasting) باستعمال لونين مجاورين للون المتكامل للون الأخضر أي البرتقالي المحمر والأحمر — البنفسجي . وقد يستعمل اللون

الأحمر كلون متكامل مكوناً لأعلى درجات التناقض . وفي كلتا الحالتين سيلاحظ أن التأثير البصرى للون الخرسانى الرمادى سيتحسن بازدياد اللون الأخضر تركيزاً على أساس ظاهرة التناقض المنطبق ، والتي تشير عن طريق التجارب إلى أن أى لون يشع على اللون الرمادى المحيط به اللون المتناقض معه .

وفي جميع التكوينات السابقة تفضل العين تفاوتاً فى الشدة والمسطح يتبع التفاوت فى اللون ، بمعنى أنها تفضل أن تتغير مسطحات الألوان عكسياً مع التغير فى شدتها . وهذا يعنى ازدياد مسطحات الألوان كلما ازداد اللون الرمادى بها . هذه القاعدة تعمل فى الاتجاهين ، أى إنه كلما قل مسطح اللون فى التكوين العام زادت شدته . والخرسانة بلونها قليل الشدة تحتل المسطحات الكبيرة ويكملها ألوان شديدة مركزة متجاورة أو متكاملة بمسطحات أقل . وفى هذه الحالة يحسن تفاوت اللونين الآخرين فى المسطح والشدة معتمداً على القاعدة السابقة فى العلاقة العكسية بين الشدة والمسطح . هذه المسطحات ذات الألوان المشبعة قد تكون فى البطنيات أو الفتحات كالأبواب والزجاج الملون أو بعض من مسطحات الحوائط . .

وقد اعتمد لوكوربوزييه على تكوينات أخرى من الألوان النقية لتحسين التأثير العام لمجموعة مرسيليا السكنية . فاستعمل مع اللون الخرسانى الرمادى المائل إلى الحمرة المتغلب ألواناً أخرى على الحوائط الفاصلة بين البلكونات المتجاورة ، وهذه دهنها بألوان باستل قوية منيرة من الأحمر والأزرق والأصفر ، وهى الألوان الأساسية النقية مع اللون الرمادى الداكن القريب من الأسود ، وذلك لإعطاء التناقض اللازم مع الألوان النقية ومع اللون الخرسانى الرمادى المحايد . ومن المهم ملاحظة أن الألوان المضافة وضعت على حوائط متعامدة على الواجهة ليراها المشاهد خلال غشاء تملئه الواجهة الخارجية للمبنى (شكل ٤٨٤) .

ومن السهولة بمكان تغيير اللون الأساسى للخرسانة من الرمادى الأخضر إلى أى لون مطلوب قليل الشدة باستعمال الأسمنتات البيضاء والصبغات الطبيعية الخام فى الخليط . وقد يلعب الركام دوراً هاماً وأساسياً فى اللون النهائى للمسطح الخرسانى باستعمال الركام الصناعى أو الطبيعى الملون ككسر الطوب أو البلاط أو الجرانيت أو الرخام الملون أو الكوارتز أو الأحجار المتنوعة الألوان على أرضيات ملونة . والألوان الناتجة تكون ألواناً غنية لكونها نتيجة مزج جزئيات ألوان متعددة . ومن المهم ملاحظة

* هذه الألوان النقية مع الأسود والأبيض هى التى اقتضرت عليها لوحات مندرين والتى حددت فيها مجموعة دى ستيل احتمالات التكوينات المعيارية للألوان .

أن تكون النتيجة لوناً قليل الشدة ما دام يشغل مسطحاً كبيراً . وقد سبق في الفصل الثالث شرح طرق للكشف عن الركام بالطرق أو الكشط أو التسوية أو هبوب الرمل أو المسح بالفرشاة (شكل ٤٨٥) مع استعمال الإضافات المؤخرة الشك للسطح الخرساني . كما أن الطرق سيكسر بعض جزئيات الركام ، وبذلك يكشف عن ألوانها وقطاعها . والركام الصناعي يمكن أن يعطى ألواناً دائمة شديدة ، في حين أن ألوان الركام الطبيعي هادئة وأقل شدة .

ومن أوائل المعماريين الأمريكيين الذين درسوا واستعملوا الركام الملون في الخرسانة المهندس جون إيزلي (John Earley) ، ومن بين ما قام به من أعمال تصميمه للنحت المعماري في كنيسة القلب المقدس (Sacred Heart) بواشنطن وفيها استعمل الركام كمصدر رئيسي للون . وقد قال عن هذا الاستعمال : « بالنظر لجزئيات الركام كنقط ألوان مرتبة الواحدة بجوار الأخرى فإنه من الممكن تحقيق كل ما توصل إليه التأثيريون أو أصحاب طريقة الرسم بالنقط بالخرسانة . . . أما الألوان التي لا يوجد لها ركام بعد ، مثل القرمزي والأزرق المخضر والأصفر الأحمر ، فيمكن عملها بنجاح من الألوان البسيطة مثل الأزرق والأخضر والأصفر يمزجها بطرق متفاوتة لإنتاج تكوينات ذات ألوان مركبة رائعة الجمال يمكن إضافتها لمجموعة الألوان الأساسية الآتية : الأزرق ، الأزرق المخضر ، الأخضر المصفر والأصفر» (٤) .

ولارتفاع تكاليف الركام الملون يمكن قصر استعمالها على الطبقة الخارجية للوحدات الخرسانية وذلك بطريقة نقل الركام (Aggregate Transfer Method) (شكل ٤٨٦) . ومع أن هذه الطريقة تتطلب عمالاً مهرة إلا أنها تفتح مجالاً غير محدود للتأثيرات المختلفة بألوان الركام حسب رغبة وتصميم المهندس . وهنا يتحول السطح الخرساني إلى سطح من الموزايكو ، ويتفتح أمام المعماري مجالات لخلق السطح الفني الجميل من لون غني بالاهتزازات والتموجات والتدرجات مكون من نقط من ألوان مختلفة مركبة بعناية الفنان . وقد يتكون السطح من مساحات من الألوان المنسجمة على أشكال هندسية أو في ترتيب تعبيرى فني . وبهذه إمكانية يتحول السطح الخرساني الإنشائي إلى مجال لطاقة جمالية ويتحدد الإنشاء والجمال في عمل فني متكامل .

الملمس خاصية أخرى للسطح تؤثر تأثيراً مباشراً في طاقته الجمالية ، وقد استعمل القدماء الزخارف بأنواعها وأحجامها وأشكالها المختلفة للوصول إلى تصميمات بالظل والنور تعطى غنى للسطح المعماري . وفي العمارة المعاصرة ، مع الاتجاه إلى حذف كل ما هو غير أساسي في المبنى ، ازدادت أهمية الملمس الطبيعي

الملمس (Texture)

بأنواعه وأشكاله المختلفة كمصدر هام من مصادر الطاقة الجمالية للسطح المعماري . والحرسانة - كمادة إنشائية بلاستيكية - تمتاز عن المواد الأخرى بإمكانياتها الواسعة في خلق أسطح أصيلة ذات غنى في من ناحية الظل والنور لكي تناسب كافة التكوينات والتعبيرات المعمارية .

فالأسطح الحرسانية الناعمة ممكنة باستعمال الورق المدهون بالزيت أو الصاج كسطح داخلي للشدة . غير أن الأسطح الناعمة غالباً ما تشقق وتظهر عليها شقوق نتيجة عدم تساوي الانكماش بين السطح الخارجي والقلب الداخلي . مثل هذه الشقوق يمكن توجيهها ، إذا لم يمكن تلافيها ، بتقسيم السطح الحرساني إلى بانوهات حيث تعمل وصلاتها كخطوط طبيعية للانكماش وكسار محدد للشقوق (شكل ٤٨٧) .

وللشدات بأنواعها المختلفة دور كبير في إنتاج الملمس الحرساني ، فالملمس الخشن يمكن الحصول عليه باستعمال ألواح خشبية غير مصقولة . كما يمكن الوصول إلى توزيعات في انطباعات الشدات على الحرسانة بتنويع ترتيباتها وملبسها (شكل ٤٨٨) . وقد أظهر أوجست بيريه اهتماماً بمعالجة السطح الحرساني في أغلب مبانيه . وهذه الإمكانيات الجمالية تظهر بوضوح في أقبية كنيسة نوتردام دي رانسي بباريس وكنيسة سانت تيريز بمونماني (شكل ٤٨٩) . فبينما يرتب الألواح محاذية للعقود في الأولى نجدده يرتبها في الاتجاه الطولي بالنسبة للقبو بالكنيسة الثانية . وقد بذلت عناية كبيرة في اختيار الألواح من أطوال وعروض واجدة ورتبت اللحامات على خطوط مستقيمة واحدة . وفي أمثلة حديثة نسقت الشدات على شكل « رقعة الشطرنج » في مبنى محطة القوى في ساء نورس (Norris) بمشروع وادي نهر التنسي (T.V.A.) بأمريكا (شكل ٤٩٠) ، وفي مشروعات لوكوربوزيه الأخيرة في مجموعتي مارسيليا ونانت السكيتين (شكل ٤٩١) ، وفي المحكمة العليا بشانديجار بالهند (شكل ٤٩٢) (٥) .

وعملية كشف الركाम تفتح أوسع الاحتمالات أمام الملمس الحرساني ، فبجانب دور هذه الطريقة في اللون فإنها تلعب دوراً كبيراً في الملمس . فالسطح الحرساني الرمادي الخضر الحامل يتحول إلى سطح غنى خشن الملمس . وهنا يلعب اختيار الركام وتوزيعه دوراً كبيراً في اللون والملمس ، ونرجع هنا ثانية إلى طريقة جون إيرلي السابقة في كنيسة القلب المقدس بواشنطن حيث نجد الركام وقد تحكّم في السطح النهائي من ناحية الملمس واللون . وهذه التشكيلات ظهرت على رؤوس الأعمدة وفي شرائط حول المذبح وعديد من العقود الداخلية . وقد شرح جون إيرلي اتجاهه قائلاً :

« لقد صممنا أسطحاً تناسب أدق الطلبات وأكبر تفاوت في المقياس ، أسطحاً تفقد ملمسها

وتتحول إلى لون متجانس على بعد خمس وعشرين قدمًا ، وأسطحاً تحتفظ بلمسها على بعد خمسمائة قدم . ولهذا الغرض استعملت أنواع من الركam تقل مقاساتها عن ربع بوصة وتكبر إلى أن تصل إلى أكثر من بوصة ونصف بوصة»^(٦) .

مثل هذه الإمكانيات في السطح من البساطة التامة إلى التعقيد المقصود التفت إليها واهتم بها المصممون والكتاب الأوائل وفي مقدمتهم أوجست بيريه . وقد نفذ ، بعد تجارب عديدة بأنواع مختلفة من الركam والطرق ، حوائط وأعمدة متحف الأثاث القومي ومتحف الأشغال العامة سنة ١٩٣٨ من الخرسانة المكشوفة الركam . وقد بذل مجهودات كبيرة في توزيع أحجام وألوان الركam المستعمل (شكل ٥٥، ٥٦) من الغريب وقد رأينا اهتماماً من الأوائل بهذا الاتجاه أن نجد إهمالاً ما زال متفشياً في العمارة الدولية والمحلية في استغلال هذه الإمكانيات . فما زالت عمارة الخرسانة المسلحة في الشرق الأوسط تسير خلف المراحل الأولى من الطراز الدولي في استعمال أنواع مختلفة من القشرات التي تخلو من أى إبداع أو خيال ، كما تفقد خاصية جمالية منبعثة من أصل وطبيعة المادة . والأمثلة العالمية غير معدومة في السنين الأخيرة لاستعمال الركam المكشوف ، بما يبشر برجوع الاهتمام . ففي المقر الشتوي لفرانك لويد رايت في تاليسن الغرب (Taliesin West) استعملت قطع مختلفة الأحجام من الحجارة على السطح وصبت الخرسانة حولها (شكل ٤٩٤) . والسطح الناتج غني بتكوينات الملمس والظلال واللون . كما اشتملت كنيسة الصليب المقدس في سيدونا بأريزونا والذي صممها المعمارى آشن وآلن على معالجة خرسانية لسطح أساسية في التأثير المعمارى (شكل ٤٩٥) . وقد بذلت عناية كبيرة في اختيار ملمس الركam المتفاوت الحجم في الداخل والخارج ، كما عرضت الأسطح لضغط الرمال لكشف الركam على السطحين الداخلى والخارجى . وقد استعمل المهندس سارين نفس المعالجة في تصميمه لكليتى صامويل موريس وإزرا ستايلز (Samuel Morse & Ezra Stiles) في جامعة ييل وذلك لزيادة تجانسهما مع المباني المحيطة . وقد أزيل السطح الخارجى للمونة بالغسيل تحت الضغط تاركاً كسر الحجارة مكشوفة للخارج . وقد تتعرض الأسطح ذات الركam المنتقى للنحت في خطوط رأسية أو أفقية بحيث يترك النحت سطحاً به قنوات للداخل أو الخارج وذلك لغرض الوصول إلى سطح على الحشونة يتتابع فيه الظل والنور في خطوط مستقيمة .

هذا وقد أصبحت البانوهات الخرسانية الجاهزة للواجهات متوافرة في الأسواق الأوروبية والأمريكية بتنوعات واسعة من ناحية الملمس : وأغلبها يستعمل الركam المكشوف بأنواع متباينة من الأحجار

والرخام . ورغبة في زيادة غنى السطح المعماري الناتج اتجه التفكير إلى أن التصرف الزخرفي بالقلوب المستعمل في صب البلاطات يعطى وحدة زخرفية يمكن تكرارها إلى عدد غير محدود ، وتكون النتيجة سطوحاً على درجات متفاوتة من غنى الملمس وتنوعه ، وذلك بتكاليف لا تزيد كثيراً على تكاليف السطح الأملس العادي ، وخاصة بالنسبة للمساحات الخرسانية الكبيرة .

وقد رأينا من قبل التكوينات الزخرفية الخرسانية البارزة منتشرة على الشاطئ الغربي للولايات المتحدة حيث كانت طريقاً لإحياء الطرز المحلية الأسبانية والسابقة للعصر الكولومبي . والزخارف البارزة صبت في نفس الوقت مع الحوائط والأسقف والكمرات والأسوار والأبواب وإطارات الشبائيك . والأمثلة من مسرح المايان بلوس إنجليس (شكل ٣٧) هي مبالغ في معالجات الحوائط الخرسانية في ذلك العصر ؛

هذه البلوكات الخرسانية الجاهزة اهتم باستعمالها كسطح خارجي على نسق زخرفي متكرر وبتنوعات عديدة المهندس فرانك لويد رايت وأولاده ، وذلك في كثير من مبانيهم . وقد كانت مصدراً غنياً للملمس في داخل وخارج تلك المباني (شكل ٤٩٦) . وقد استغلها رايت كشذات دائمة للقلب الخرساني في منزل أقامه لمسر أليس ميلارد (Alice Millard) في باسادينا بكاليفورنيا عام ١٩٢٢ مستعملاً وحدة هندسية أقرب إلى زخارف النسيج (شكل ٤٩٧) . وفي عام ١٩٢٣ بنى رايت منزلاً على نفس النمط في لوس انجليس أحدهما للدكتور ستورر (Storer) والآخر لمستر شارلز إينس (Charles Innes) (شكل ٤٩٨) . ومن مبانيه السكنية المشهورة في هذا الاتجاه منزل فريمان (Freeman) (شكل ٤٩٩) بلوس أنجليس ، وفيه أحيطت البلوكات الزخرفية بأخرى ملساء . هذه الأخيرة كونت سطوحاً خلفياً وحد الشكل العام . وقد كرر رايت استعمال البلوكات الزخرفية الخرسانية طوال حياته كما اهتم بها ثلاثة من أبنائه .

مثل هذا الاستعمال لبلاطات جاهزة ذات انطباع زخرفي معين أصبح الآن شائعاً في كل من أوروبا وأمريكا . ففي إنجلترا مثلاً نجد أن المهندس بيركن هاوارد (Birkin Haward) عضو شركة جونز وسلابر وهاوارد (Johns, Slaber, Haward) من إبسوتش (Ipswich) قد طور هذه الوحدات أكثر من أي مهندس آخر (٧) . وكان غرضه هو الوصول إلى طريقة رخيصة لإعطاء الأسطح تنوعاً وتغييراً على مقياس أوسع من طريقة الركام المكشوف ، وقد طور هاوارد بلاطاته من نماذج من الجبس . ثم ظهرت استعمالاتها في مدرسة كاسل هل (Castle Hill) في إبسوتش (شكل ٥٠٠) وفيها استعمل وحدات متكررة على شكل معينات غاطسة كونت بعد تعرضها للجو ملمساً محدداً من

النور والظل حتى في الأيام القاتمة . هذه الوحدات ذات انطباعات بسيطة متداخلة متكررة متكاملة مثل الزخارف الشائعة في النسيج وأوراق الحائط . واستمر هاوارد في استعمال المسدسات - والمسدس له ميزة سهولة تكراره - في المدرسة الثانوية في ابسوتش (شكل ٥٠١) . وقد تطور هذا الاتجاه في أوروبا وأمريكا ليصل إلى مرحلة الإنتاج الجاهز تحت الطلب . ففي إنجلترا نجد أن في الإمكان شراء بلوكات زخرفية جاهزة ، منها بلوكات يعرضها أحد المصانع بمقاسات ثابتة ١٨ بوصة طولاً و ٩ بوصات عرضاً و ٤ بوصات عمقاً بخمسة تصميمات زخرفية مختلفة . وفي أمريكا نجد أن حوائط مصمته ذات ملمس زخرفي يمكن بناؤها من بلوكات خرسانية عادية جاهزة تحت الطاب بمقاسات ثابتة ٨ بوصات ارتفاعاً وعمقاً و ١٦ بوصة طولاً مع استعمال بلوكات أخرى تبرز عن السطح العام للحائط الخرساني العادي من بوصة إلى ٤ بوصات . ويتجه مجال هذا التكوين الاقتصادي إلى استعمال البلوكات الخرسانية المفرغة بين البلوكات المصمتة ، وذلك لإنتاج قواطع للحوائط والأسوار (شكل ٥٠٢) .

* * *

« اختفاء المادة ممتع للعين كوجودها . وفي الحقيقة فإن العلاقة الرقيقة بين الجزء المصمت أمام الفراغ المفتوح هي من أبرز خصائص العمارة الحديثة » (٨) .

والبلوكات الخرسانية الزخرفية قد تكون مفتوحة في جميع أو بعض أجزائها بحيث تترك وحدات خطية ترسم مع الفراغات أشكالاً زخرفية متنوعة . هذه الفراغات قد تملأ بالزجاج لتكون فتحات ثابتة للإضاءة الزخرفية . وقد رفع بيريه من شأن هذا الاستعمال في الوحدات المكونة لحوائط كنيسة نوتردام دي رانسي بباريس (شكل ٥٠٣) وسانت تيريز بمونماني ، وفيهما استعمل المخمرات الخرسانية للحوائط الجانبية والخلفية غير الحاملة . وهذه تكونت من مخمرات على أشكال مربعة ومثلثة ومعيّنة وصلبان ودوائر . وقد استعملت نفس هذه الوحدات في الأسوار والعقود والجمالونات وبانوهات البرج ، وملئت مثلثات الفراغات بين الأعصاب الخرسانية بالزجاج الملون .

« ألوان الزجاج بجوار المدخل عامة من اللون الأصفر ، وكلما قربت الفتحات من المذبح ازدادت الألوان عمقاً إلى البرتقالي والأحمر والبنفسجي منتهية بالأزرق للفتحات حول المذبح . هذا الأزرق المطعم بالأحمر والبنفسجي المتناثر له عمق سماء الليل الصافية . هذه المجموعة مع التكوين الكبير لصليب خلف المذبح مباشرة تكون ستاراً خلفياً وقوراً لأقدس جزء في الكنيسة » (٩) .

والنتيجة حوائط خفيفة غير إنشائية . . وهنا استعملت إمكانيات المادة للتعبير عن طبيعة الحوائط غير الفعالة .

وفي هذا الاستعمال توجد احتمالات تكرار وحدة أو عدة وحدات على المسطح بأكمله كما هو الحال في كنائس بيريه ، أو أن تكمل الوحدات فيما بينها تصميمياً عاماً للفتحة بأكملها . وفي الحالة الأخيرة يتجه التصميم اتجاهات فنية حرة . ومن الاستعمالات الهامة في هذا المجال النوافذ الخرسانية لكنيسة باكارا (Baccarat) بفرنسا للمهندس نيكولاس كازيز (Nicolas Kaziz) ، وفيها جمع التصميم بين استعمال انطباعات الشدات على الأعمدة مع الانطباعات الهندسية على بلوكات الحوائط السابقة الصب مع استعمال النوافذ الزجاجية الخرسانية الزخرفية . كما احتوت كنيسة جان دارك في بلفورت (Belfort) بفرنسا على مجموعات لاحتمالات الملمس الخرساني حيث استعملت بلاطات عليها انطباعات الشدات ، وبلاطات ذات ملمس نحشن بالركام المكشوف مع بانوهات الحائط الداخلية المستوية المقسمة بواسطة وصلات منتظمة متناقضة مع الأشكال الديناميكية الحرة للنوافذ الخرسانية الزجاجية . وقد صمم الكنيسة كبير المعمارين بالحكومة الفرنسية موريس لودز (Maurice Lods) بالتعاون مع الفنان جان لوك بيرو (Jean luc Perrot) (شكل ٥٠٤) .

والخمرات الخرسانية قد تستعمل كتشايك حاجزة للشمس أمام الفتحات الزجاجية للمباني أو كحواجز زخرفية مفتوحة في أسوار التراسات والحدائق . هذه الخمرات تطور حديث مباشر من المشربيات الإسلامية التي انتقلت إلى إسبانيا ومنها إلى أوروبا وأمريكا بعد تبسيطها إلى أبسط أشكالها المتكررة (شكل ٥٠٥) . واستعمال مثل هذه الخمرات على أنواع وأشكال مختلفة أصبح شائعاً في بقاع مختلفة من العالم ، وخاصة بعد أن استعملها المهندسون الإنجليز أمثال فراي ودرو درياك ولازدن (Fry, Drew Drake & Lasden) في مبانيهما ببلدول الكومنولث بأفريقيا . وقد اختيرت لهذا الغرض وحدات زخرفية أفريقية لتتناسب مع اللغة المعمارية المحلية . وهذا واضح في مبنى المكتبة بجامعة أبادا (Abada) بنيجيريا (شكل ٥٠٦) . كما استعملت الخمرات بوحدات زخرفية في أسوار المدرسة الثانوية للأولاد أوبوكووير (Opuku Ware) في كومازي (Kumasi) بغانا (شكل ٥٠٧) ، وفي أسوار مساكن الطلبة في مدرسة مفانتسيبيم (Mfantsipim) بمدينة كيب كوست (Cape Coast) بغانا (شكل ٥٠٨) . وفي الجمهورية العربية المتحدة استعمل المؤلف منذ عام ١٩٥٨ تشايك مسلحة من ركام من كسر الحجر ومونة الأسمنت الأبيض في تكوينات هندسية وزخرفية متكررة وذلك لحماية الفتحات والحوائط من

أشعة الشمس وكسطح على الحشونة داخل كادر علوى وسفلى مصمت هو امتداد لأرضية وأسقف بعض المباني العامة (شكل ٥٠٩) والخاصة (شكل ٥١٠ ، ٥١١) في القاهرة . وفي أمريكا الوسطى واللاتينية ظهرت أمثلة ناجحة لهذه المخزومات ، ومنها الحواجز الخارجية في منزل سال وكامبوس (M. de Salles & R. de Campos) بريودي جانيرو ، وهي تمتاز بالبساطة في التنفيذ مع الطرافة في الملمس الناتج (شكل ٥١٢) . كما استعملت الحواجز المفتوحة وكاسرات الشمس من الأرضية إلى الأسقف ببراعة في عمارات باركي كوينتا (Parque Quinta) بريودي جانيرو (شكل ٥١٣) .

وفي أمريكا يصمم المهندس المعماري الشهير إدوارد ستون (Edward Stone) واجهات مكسوة بأكملها بالتشاييك . وكان أبرز استعمالاته لها في سفارة أمريكا بنيودلهي وعلى واجهة منزله بنيويورك وعلى واجهة المكتبة الرئيسية بمدينة بالو ألتو (Palo Alto) بكاليفورنيا (شكل ٥١٤) . وهو يستعمل الخرسانة وكسر الرخام في صب هذه الوحدات التي اكتسب فيها حساسية في الاستعمال ، مما أعطى مبانيه طابعاً خاصاً وملمساً على درجة عالية من الغنى في الظل والنور .

وفي غاية الأهمية أن نلاحظ هنا الأسس العامة للتصميم بالملمس . وهي لا تختلف من حيث جوهرها عن الأسس العامة للتصميم بالألوان ، فمن الواجب ألا تزيد درجات الملمس ومكوناته في مبنى واحد على مثل لكل درجة باعتبار تقسيمها إلى أسطح ناعمة وخشنة وعالية الحشونة ، كما يجب ألا يزيد المجموع على ثلاث درجات . ومن المفروض أن تتفاوت مسطحات الدرجات المختلفة الملمس في حالة تعددها ، الأمر الذي لم يحدث في مدرسة كاسل - هل (شكل ٥٠٠) ، وكان سبباً في عدم نجاح التكوين العام للملمس . وهذا يعني أنه إذا كان الملمس المتغلب ناعماً كسطح خرساني أملس فمن الواجب أن يكون المسطح التالي أصغر في السطح وأكثر خشونة مثل البلاطات العارية الركام . وإذا وجد سطح ثالث فمن الواجب أن يكون أقلها مسطحاً وأكثرها خشونة كبلاطات النحت البارز أو المخزومات الخرسانية بأنواعها . ومن الأمثلة الناجحة في مجال التصميم بالملمس سفارة الولايات المتحدة بنيودلهي (شكل ٥١٥) ، وفيها سطح على الحشونة متغلب في المساحة وفي الحوائط المكسوة بكاملها بالتشاييك يتناقض مع سطح متوسط الحشونة وأقل في المساحة في السقف البارز عن الحوائط وملمس ثالث في وحدات خطية على درجة عالية من النعومة والبريق في الأعمدة الخارجية النحاسية . وعلى المعماري أن يلاحظ هذه القواعد الهامة بأن يتلافى مثلاً استعمال سطحين عاليي الحشونة مختلفي

الوحدة ؛ كأن يستعمل أسلحة كاسرة للشمس رأسية أو أفقية مع تشابيك زخرفية * أو يستعمل نوعين مختلفين من التشابيك على واجهة واحدة ، حتى لا تكون النتيجة فوضى في اللمس تعطل إلى حد بعيد المتعة الجمالية الناتجة .

الشكل الجمالى

(Aesthetic Form)

الشكل الجمالى هو طريقة تجميع المكونات المادية للجسم الفنى من أسطح مستقلة أفقية أو رأسية أو مائلة أو منحنية مكونة لكتل مغلقة للفراغات . واللون واللمس ، بجانب كونهما عناصر للمتعة الفنية فإنهما يحددان الأسطح المغلفة للشكل العام .

والخرسانة المسلحة كما رأينا هيأت إمكانيات لخلق أشكال معمارية ذات أسطح خارجية حاملة . هذه الأشكال بلاستيكية تحل فيها المنحنيات المستمرة محل الخطوط المتعامدة الحادة . كما تحل التكوينات المفردة والمزدوجة الانحناء المستمرة ذات الكفاءة الإنشائية العالية محل التكوينات المعمارية التكعيبية التى خلفتها طبيعة الإنشاء بالأحجار والأخشاب والحديد والصلب .

والخرسانة المسلحة كمادة جديدة فريدة من نوعها تعتبر منبعاً لا ينضب للتكوينات المعمارية المتجددة . هذه التكوينات تخاق مشكلات جديدة للمعماري عليه أن يجابهها إذا ما أراد أن يحقق عمله التأثير الفنى المطلوب .

والمعماريون فى محاولاتهم لإنتاج مبان ناجحة فنياً كان هدفهم دائماً الحديد فى التكوين . وقد أتاحت الخرسانة للرومان كنزاً لا ينضب من التكوينات الحديدية . وقد كان الهدف إلى التجديد فى الشكل ليتناسب مع الحديد فى الانتفاع هو الذى دفع معماري القرنين التاسع عشر والعشرين إلى محاولات الجمع بين الطرز القديمة متوهمين أن فى هذا تجديداً فى الشكل عن طريق الجمع بين المظاهر الشكلية لعصور مختلفة فى مبنى واحد . هذه المحاولات للتجديد لم تتجه وجهتها السليمة إلا بعد ازدياد الخبرة بمواد الإنشاء المستحدثة ومنها الخرسانة المسلحة . هذا السعى المستمر نحو الابتكار هو الذى يبعث الحياة فى الفن والعمارة ويبقيها حية متجددة ، ويموت بموته العمل الفنى ليحل محله التقليد والاقتباس وأحياء الطرز القديمة . وقد فتحت الخرسانة المسلحة للفن المعمارى مجالاً للتشكيل والتكوين لم يعهده من قبل ، وأصبح الميدان مفتوحاً لكل معمارى ذى خيال يعمل على أسس سليمة من الإنشاء والمنفعة .

* من أمثلة هذا الاستعمال مبنى وزارة الصناعة بالقاهرة .

والحديد في الشكل ، وبخاصة إذا كان غير مألوف بتاتاً ، يقابله في البداية دائماً مشكلات التعرف عليه (شكلي ٥١٦ ، ٥١٧) ، والتعرف مبنى على السوابق والعرف والتجربة . والجمهور قد طال تعوده على الحوائط الرأسية والأسقف الأفقية أو المائلة . أما الحوائط الأسطوانية ، فهي للخزانات واستعمالها لكنيسة في جامعة ماساشوسيتس للتكنولوجيا في كامبردج يسبب حيرة للمشاهد . ورغم أن القيمة الفنية للتعرف محل خلاف بين التعبيريين والمجددين من أصحاب مبدأ خلق الفراغ الشامل (Universal Space) ، إلا أننا على ثقة بأن مشكلة التعرف على الأشكال الحديدية ستزول مع الاستعمال والتجربة المستمرة .

ومن المهم للمشاهد لكي يتمتع بالكتابة الفنية أن يتمكن من إدراك شكلها وأبعادها ومقاييسها داخلياً وخارجياً . مثل هذا الإدراك قد يأتي عن طريق اللمس أو البصر . وفي العمارة يكون الإدراك بصرياً أكثر منه عن طريق اللمس . والإدراك البصري أقل شدة وأكثر تعقيداً وعمقاً ، إلا أن للعين طرقها في مثل هذا الإدراك الذي يتم على مستوى اللاشعور . وعلى المعمارى أن يدرك هذه الطرق وأن يستخدمها لكي يضمن لأشكاله وفراغاته التأثير المطلوب . وسنناقش هنا مشكلات التكوينات الفراغية البلاستيكية على اعتبار أن انتشار استعمالها قد لازم استعمال الخرسانة في العمارة الرومانية والخرسانة المسلحة في العمارة المعاصرة .

التكوينات البلاستيكية المستمرة قد فتحت المجال لدخول أشكال هندسية دورانية بسيطة للمجال المعمارى ، وقد طال استعمال المكعب ومتوازي المستطيلات والهرم كأشكال هندسية مستقيمة الأضلاع مكونة من مستويات متقاطعة ، كما تميزت بها الأشكال المعمارية المعاصرة بالخشب والصلب . وبتطوير الخرسانة المسلحة تحققت اتجاهات إلى الأشكال البلاستيكية الأساسية كالكرة أو أجزاء منها والأسطوانة الرأسية أو الأفقية ومجموعات منها والمخروط . وجميع هذه الأشكال قوية ذات جاذبية عالية للعين مألوفة للنفس ، وهي إذا استعملت مفردة تعطى شكلاً موحداً قوياً مريحاً للعين لمروها عليه براحة وبساطة وهدوء . وهي إذا استعملت مع أشكال تكعيبية تطنى عليها بصرياً ، وتكون عنصراً مسيطراً يظم المجموعة المعمارية في وحدة متكاملة إذا ما كان لها من الحجم والوضع ما يؤكد لها هذه السيطرة .

* يتجه ميزقان ديروه إلى خلق الفراغ الشامل دون التقييد باستعمال معين لهذا الفراغ متيحاً الفرصة للتغيرات المحتملة المستقبلية في هذا الاستعمال .

قد تستعمل هذه التكوينات والأشكال البلاستيكية وتكون النتيجة فشلاً فنياً ناتجاً عن طبيعة هذه الأشكال ذاتها . وهنا تبرز أهمية الإدراك البصرى للشكل فى الفراغ . فقد نشاهد شكلاً كروياً فى الفراغ ولا ندرك حقيقته تحت الضوء لعدم وجود وحدات فى الشكل تساعد بصرياً على عملية الإدراك . من وظيفة هذه الوحدات توليد الظلال والنور اللازمين لإدراك الشكل . وفى التكوينات التكعيبية تتوافر هذه الوحدات بتقاطع المستويات بزوايا مختلفة وبروزات السقف على الحوائط وبالفتحات والأعمدة . هذه الوحدات بجانب توليدها لمسطحات مظلمة ومظيرة ، تكون بترتيباتها وتتابعها عناصر للمنظور هامة للإدراك المجسم . فالأعمدة حول المعبدين الإغريق ، وصفوف العقود حول فناء إسلامى وخلفها الحائط المرتد مستقبلاً . ظلال الأسقف والعقود المتقدمة ، جميعها تكون وحدات إدراك بصرى للتكوين التكعيبى العام . وفى الأشكال البلاستيكية تحذف خواص الاستمرار الشكلى والبساطة وانسياب السطح كل أو أغلب هذه الوسائل وتصبح عملية إدراك الشكل صعبة من الداخل والخارج . ومع أن وحدة الشكل موفرة فإنها وحدة ذات طابع خال من الإيقاع ، أو التنويع ، أو الظل والنور ، أو التجسيم .

والحل المنطقى لزيادة الإدراك البصرى للشكل البلاستيكى هو خلق رواسم على السطح المنحنى يسهل بواسطتها معرفته ومعرفة حدوده وأبعاده . وقد تتكون هذه الرواسم نتيجة لتلاقى الحوائط الرأسية الزجاجية غير الحاملة مع الصدف المنحنية المقفلة . وبتكرار هذه المستويات حول القبة يتكون إيقاع ناجح من عقود منتهية بأعصاب تلى ظلالها التى تساعد على زيادة تأكيد الشكل المنحنى (شكل ٥١٨) . ومن الأمثلة الناجحة صالة مطعم لوس مانا نتيالس (Los Manantiales) بمكسيكو (شكل ٥١٩) حيث تقاطع حائط زجاجى مع السقف القشرى المتموج . وقد تكون المستويات المقاطعة حوائط صماء كما فى صالة فرنثون ريكوليتوس (شكل ١٩٢) ، وفيها تقاطع سقفان أسطوانيان مع المستوى الرأسى للحوائط الجانبية فازداد السقف بذلك تحديداً وتوضيحاً .

وفى مستوى الشكل المنحنى داخلياً وخارجياً استعمل القدماء خطوط الأعصاب بأشكالها المختلفة لتحديد الشكل وتأكيدده . فبدون الحشوات الموجودة داخل قبة البانثيون ، بإيقاعها المنتظم على محيط القاعدة والمتناقص نحو قمة القبة ، لما أصبح تأثيرها بالقوة التى هى عليه الآن . وبدون الأعصاب عند تقاطع قبوات الكنائس الرومانسكية والقوطية والأعصاب الحاملة لقباب عصر النهضة والباروك فى كنائس سان لورنزو وسان بيتر وسان بول لما بلغ التأثير الداخلى أو الخارجى القوة التى بلغها . وفى الإنشاء الحديث كبرت البحور وازدادت الارتفاعات والأبعاد وازدادت الحاجة إلى الرواسم . هذه

الرواسم الطبيعية ومتوافرة في الإنشاء الخطى بالصلب أو الخرسانة حيث ترسم العقود الشكل المنحني داخلياً أو خارجياً . ومن وجهة النظر هذه يحسن ظهور الرواسم من الجهتين لخدمة نفس الغرض داخلياً وخارجياً . وبالنسبة للإنشاء القشري بالخرسانة يخلو السقف من الكمرات الراسمة إلا في بعض الحالات التي توجد فيها أعصاب لحفظ الشكل العام وهياكل لحمل القهوات الأسطوانية القصيرة (شكل ٥٢٠ ، ٥٢١) . هذه العقود إن وجدت تعمل كرواسم للسقف القشري ، وإن لم توجد كما في حالة الأسقف القشرية التي يوفر لها تعدد انحناءاتها الصلابة المطلوبة ، يجب على المعمارى أن يتجه اتجاهات أخرى تحل محل الرواسم لتأكيد الشكل .

الفتحات العرضية أو الطولية في جسم الصلابة القشرية ، إذا أمكن تحقيقها إنشائياً ، تساعد على الوصول إلى الهدف السابق داخلياً أو خارجياً . فالفتحتان المستطيلتان الأسطوانيتان في سقف صالة فرنطون ريكوليتوس بمدرية توديان دوراً هاماً في الإدراك البصرى للسقف الأسطوانى وتمنعان الملل وتؤكدان الشكل (شكل ١٩٢) كما يظهر ذلك بوضوح في التصميم الناجح للفتحة الأسطوانية التي تمتد في مستوى سقف صالة ك. ب. (K.B.) للنس بكونها جن (شكل ٥٢٢) ، وفي الفتحات المتكررة العرضية الراسمة للسقف الأسطوانى بصالة السوق المغطى في مدينة فيفيه (Vevey) بسويسرا (شكل ٥٢٣) . وما لا شك فيه أن الفراغات الزجاجية بين العقود المتقاطعة في صالة مطار سان لويس قد ساعدت على التأكيد الدراماتيكي لشكل السقف المنحني (شكل ٥٢٤) .

والتموجات في الأسقف القشرية بأشكالها المختلفة تخدم الغرض السابق بوجود عدة رواسم بالظل والنور عند كل وحدة متكررة . وقد خدمت هذه التموجات داخلياً وخارجياً السقف القشري لقصر المركز القومى للصناعة والتكنولوجيا بباريس (C.I.N.T.) (شكل ٥٢٥ ، ٥٢٦) كما يستغلها نيرفى إنشائياً وبصرياً في أغلب مبانيه ذات البحور الواسعة ومنها قصر الرياضة بروما (شكل ٥٢٧) .

ومن المهم أن نؤكد ضرورة توضيح الأشكال المنحنية ليلا عن طريق الإضاءة غير المباشرة المنعكسة عليها . فن الخطأ الشائع استعمال المعلقات الكهربائية العادية المدلاة تحت السقف القشري مما يحوله إلى مساحة مظلمة غير ملحوظة أو مستغلة ، في حين أن المسطحات القشرية باستمرارها ونعومتها وأشكالها المنحنية يمكن أن تؤكد فنياً باستغلالها انتفاعياً كعواكس للإضاءة المسلطة عليها .

* * *

كثيراً ما ندخل إحدى حظائر الطائرات ذات البحر الواسع الذي قد يزيد عن مائة متر والامتداد

الطولي إلى مئات الأمتار ولا تتأثر بحجمها الكبير ، في حين ندخل صالة متوسطة في قصر أو محكمة أو جامع ونتأثر في المجال بضخامة بحرها وطولها وارتفاع سقفها . السبب الواضح لهذا هو ما نسميه بتوافر وسائل التعرف على المقياس في التصميم الثاني واختفائها في الحالة الأولى . والمقياس صفة جمالية ذات تأثير كبير في النجاح المعماري ، وهو التأثير البصري للمقاييس المنقولة عن الأبعاد المادية الحقيقية . وفي العمارة يوجد المقياس نتيجة لتوفر وحدات انتقاعية منفردة ذات أبعاد مألوفة وذات علاقة بالمقاييس الإنشائية . وهنا توجد علاقات بين الأبعاد الكبرى وبين هذه الوحدات المعروفة بالمقياس تساعد المشاهد على التأثر السليم بهذه الأبعاد . هذه الوحدات كالأسوار والسلالم وجلسات الشبابيك توفر أبعادها مقياساً للكتلة أو الفراغ ووسيلة لخلق التأثير العام لحجم الفراغ الداخلي أو الكتلة الخارجية . والسعي للمقياس سعى متعمد مقصود قد يصل إلى درجة عالية من العمق والدراسة شاهدنا أمثله في عمارة الباروك ثم أهملته الفراغات في العمارة الحديثة رغم حاجتها الشديدة إليه . ومن المنتظر أن يعود ثانية فيسترجع أهميته بالدراسات الحديثة للفراغات الداخلية والخارجية والمحاولات الجادة لإكسابها تلك الصفات التي جعلت من الفراغات الأولى مع تواضعها مصادر للتأثير فاقت ما لدينا الآن من إمكانيات إنشائية واسعة .

والمواد الإنشائية التقليدية تخدم كوسائل للتعرف على المقاييس . فحائط الطوب والحجر يحتوى على وحدات ذاتية للمقياس ، كذلك الحال بالنسبة للإنشاء الهيكلي المكشوف بالصلب والحرسانة حيث تتراوح الباكيات من ثلاثة إلى خمسة أمتار وارتفاعات الأدوار حوالى ثلاثة أمتار . أما الأشكال البلاستيكية ذات البحور الواسعة والأسطح الملساء وذات الأشكال الهندسية النقية ، فإنها تخلق كلية من وحدات إنشائية للمقياس . وهى للمشاهد بالصورة أو على الطبيعة لغز محير من ناحية أطوالها وبحورها وارتفاعاتها . وغالباً ما يكون تأثيرها في المشاهد أقل من الحقيقة — الأمر الذى قد يكتشفه بالبحث المتعمد المضمّن على أساس المقارنة أو بالطواف حولها لاكتشاف مقاساتها — مما يضعف تأثيرها الجمالى المرغوب* .

ومن المناسب أن نبحث هنا في طرق تلافى ذلك مستوحين ومتلمسين المبادئ الأساسية في هذا المجال .

* قال المهندس أيرو سارينين مصمم مسرح معهد ماساشوستس للتكنولوجيا عن ميناء :
« لقد أثار المبني قدراً كثيراً من المناقشات المؤيدة والمعارضة — وإنى أعتقد أن بعض الانتقادات لها ما يبررها . أنا أشعر الآن أن المبني ليس له الشكل الذى يسمو بالمشاهد بالدرجة الكافية ، وأنه ربما ينقصه تعريف كاف بالمقياس » (١٠) .

للإدراك البصرى للمقياس يجب أن توفر وحدات سهلة التعرف على أبعادها ، وهذه قد تكون وحدات مألوفة معروفة أو قريبة من عين المشاهد بحيث يسهل حدوث عملية المقارنة التلقائية السريعة ، ويتم التأثير المطلوب في أقرب وأسرع سبله . وفى مجال توفير الوحدات المألوفة نجد أن السلام الداخلية والخارجية من أيسر السبل لهذا الهدف ، وكذلك الأبواب ذات المقياس الانتفاعى المناسب ، كما يمكن استعمال الأرائك والمائيل الخارجية ذات الحجم الطبيعى .

والسبيل الآخر والأسهل للتعرف على المقياس هو توفير وحدات صغيرة مألوفة فى الحوائط أو الأسقف أو الأرضيات قريبة من عين المشاهد وتكرارها أو تكرار مجموعات منها فى بقية العنصر المعماري حتى يمكن المقارنة تلقائياً بين الكل والجزء . وقد استغلت هذه الطريقة فى أغلب الطرز القديمة بتكرار الحشوات فى الأسقف أو الباكيات فى واجهات المعابد الإغريقية والرومانية . فالأدوار والباكيات فى الحائط الأسطواني الخارجى لمبنى الكلوسيوم بروما ، والباكيات المعقودة فى الكنائس القوطية والأفنية الأندلسية هى من أنجح الوسائل للتعرف على مقاييس الشكل العام أو الفراغات الداخلية . وقد وفرت طرق نيرفى فى إنشاء الأسقف الخرسانية من وحدات متكررة من جمالونات ، أو قطع مزدوجة الانحناء بفتحات فى جوانبها (صالة معرض تورينو شكل ١٠٦) ، أو من بانوهات مقعرة على أشكال معينة كما فى صالة الرقص بشنسيانو (شكل ٥٣٤) ، وسائل بصرية مباشرة للتعرف السليم على مقياس صالاته الواسعة .

والأسقف القشرية الملساء تخلو من فرص تكرار وحدات ثابتة الأبعاد ومن احتمالات تقسيمها بواسطة عراميس إلى بانوهات أو وحدات كما هو الشأن فى الحوائط الطوب . إلا أنه ما زال أمام المصمم بالأسقف القشرية فرص استغلال المسطحات غير الفعالة من الغشاء الخارجى . وهذه بطبيعتها تنفذ من مواد خفيفة مقسمة إلى بانوهات صغيرة الحجم متكررة ، وهذه قد تكون وحدات من الطوب أو بانوهات زجاجية . ومن الأخطاء التى يقع فيها المصمم لمثل هذه المسطحات الواسعة تكبير وحدات التقسيم عن المعتاد لتتناسب مع مقاييس المبنى الكبيرة . مثل هذه المعالجة يكون لها تأثير عكسى وهو تصغير التأثير العام للأسقف القشرى عن حقيقته .

كما يمكن تأكيد المقياس الخارجى والداخلى بتسهيل المقارنة عن طريق التناقض مع كتل أو فراغات أصغر حجماً وأسهل إدراكاً لأبعادها . والمداخل أو المخارج أو المماشى أو أى ملحقات انتفاعية للفراغ الأكبر للمبنى قد تخدم فى هذا الاتجاه . ومن المهم مراعاة التفاوت فى الحجم بين البلوكات الملحقة والشكل الرئيسى البلاستيكى ، وذلك للمحافظة على وحدة المبنى مع الوصول إلى المقياس السليم . مثل

هذه الوحدة قد فقدت في مبنى المركز القومى للصناعة والتكنولوجيا بباريس (شكل ٥٢٦)، حيث لم تخدم مجموعة المباني التكميلية المعقدة. كبيرة الحجم التأثير العام للسقف القشرى فوقها ، بل أفسدت المقياس الحقيقى للصدفة كبيرة الحجم (بحرها ٦٧٦ قدماً وارتفاعها ١٥٢ قدماً) . ومن الداخل يساعد التقسيم الداخلى الأفقى والرأسى لجزء من الفراغ الكبير إلى فراغات أصغر إلى الوصول إلى الإحساس بالمقياس الكبير ، ويظهر ذلك واضحاً فى المعالجة الداخلية الجانبية لصالة السوق المغطى فى فينفيه بسويسرا (شكل ٥٢٣) . .

وقد هيات الوحدات الإنشائية وانتظامها لباقيات متقاربة لكل مادة مقياساً ثابتاً للحكم على المقياس العام . كما أن التقسيم الإنشائى التقليدى إلى أعمدة وكمرات رئيسية أو هياكل وكمرات ثانوية يعطى مقياساً للمبنى نتيجة للتدرج التصاعدى والتناقض الحجمى من الكمرات الثانوية الصغيرة إلى الكمرات الرئيسية أو الهياكل الكبيرة العمق . وهذه بتكرارها تعطى فكرة واضحة عن المقياس العام . ووجود الأعمدة المتكررة على صفوف متتالية على جانبي البهو الرئيسى لكنيسة قوطية مثلاً يؤكد المنظور الذى هو وسيلة العين للوصول للمقياس والأبعاد . مثل هذا الإنشاء الخطى التدرجى يحتفظ فى ذاته بوسائل كامنة للتعرف على مقياسه . أما الإنشاء البلاستيكى السطحي فلا يحمل هذه الميزة لطبيعته كسطح واحد مستمر لا يشمل وحدات قد يكون بينها مثل هذا التدرج أو التناقض . كما أن باقيات إن وجدت كما فى حالة الصدقات الطويلة المفردة الانحناء تكون باقيات غير تقليدية وغير مألوفة من ناحية مقاييسها ؛ إذ قد تصل عرضها إلى عشرة أمتار وبحورها إلى ستين متراً . هذا النقص فى إمكانية تأكيد الإنشاء ذاته للمقياس هو من المصاعب المعمارية بالأسطح المستمرة الفعالة وهى التى لا تعتمد على انتقال الأحمال للأرض عن طريق وحدات متدرجة فى المقياس . وستزداد المعرفة بالمقياس الجديد للإنشاءات البلاستيكية المستمرة بزيادة تجربة المشاهد بها ونمو الألفة بينهما . وعلى المعماري أن يساعد على ذلك ما أمكن باستغلال باقيات الأعصاب أو الهياكل أو الأعمدة وتأكيداتها وتوضيحها حتى تستعمل كمقياس لباقي أجزاء المنشأ .

وباختفاء الزخارف من المباني اختفت طريقة طالما استعملت للوصول للمقياس نتيجة للمقارنة ونتيجة لتقسيم الحوائط والأسقف إلى أقسام وبانوهات مختلفة يسهل التعرف عليها . وقد نجحت هذه الطريقة ما دامت الزخارف فى حدود مقياس الإنسان كما فى جامع أيا صوفيا ، وفشلت فى كاتدرائية سانت بيتر بروما بسبب أحجامها الضخمة الهائلة التى تسبب بالتبعية فى صغر حجم جميع المقاسات

الأخرى بالمبنى . وفي هذا المجال تفتح الخرسانة احتمالات جديدة لتأكيد المقياس عن طريق إمكانياتها الواسعة في اللمس الذي يحل محل الزخارف بالنسبة للتصميم المعماري الحديث . فإظهار الركाम بأنواعه ومقاساته المختلفة على السطح وكذلك إظهار انطباعات الشدات الخشبية بتكويناتها وأشكالها المختلفة السابق بحثها تجزئ ما كان سطحاً كبيراً ناعماً مستمراً إلى أجزاء سهلة الإدراك والفهم . ويصل المصمم إلى نفس النتيجة باستعمال البانوهات الزخرفية الخرسانية السابقة الصب كسطح خارجي للحوائط (أشكال من ٤٩٦ إلى ٥١٤) .

وبالوضوح البصري للشكل الخرساني خارجياً وداخلياً تحت الضوء مع توفير وسائل التعرف على ميقاسه يكتمل تأثيره الجمالي ويصل للدرجة من السمو والعمق وصلتها أشكال معمارية ببحور تقليدية في طرز سابقة . هذه الطرز أخذت طبيعة العين البشرية وبالتالي متعتها الجمالية ضمن العوامل الهامة المؤثرة في التصميم المعماري .

التعبير المعماري بالخرسانة المسلحة



هناك فرق كبير بين مجرد تنسيق الوحدات المعمارية وبين التعبير الفنى المقصود والمصمم *
والأخير هو الذى يميز العمل الفنى عن العرض الطبيعى .

وحيث إن الغرض الأساسى للعمارة هو غرض اجتماعى فإن تأكيد الدور الذى يلعبه المبنى فى المجتمع ، سواء أكان عاماً أم خاصاً ، هو من صميم عملية التصميم المعمارى الجمالى الذى يتجه فى نفس الوقت إلى زيادة الثروة الجمالية للمجتمع . ويعتبر النجاح فى التعبير عن ذلك بالمواد وطرق الإنشاء المعاصرة — ترجمة للإمكانات الجمالية للعصر التى هى ملازمة لطبيعته ومقياساً لتفوقه المعمارى .

وحيث إن الغلاف المادى هو الطريق لتحقيق الانتفاع الاجتماعى فإنه يتبع أن المعمارى بتأكيد طبيعته هذا الغلاف وخواصه يكون قد عبر عن الغرض الاجتماعى . وعلى المعمارى أن يوضح ويؤكد من خواص المادة وطريقة صنعها وتحملها ما يجده مناسباً للوصول إلى التعبير المعمارى المطلوب : والتنوع الذى تتيحه الحرسانة تنتج عنه مظاهر متنوعة تعكس انطباعات المعمارى عن المادة بخواصها المختلفة لخلق فراغ اجتماعى معين .

والمادة الإنشائية باستعمالها السليم ، تفرض خواصها وطبيعتها العامة على سطحها الخارجى وعلى تشكيلاتها المختلفة : وهنا يلزم التأكيد المعمارى للخواص المميزة للمادة : كما أن توضيح طريقة الصناعة والمعالجة يتيح للمشاهد فرصة معرفتها والتمتع بها : أما طرق التجميع والإنشاء فهى التى تكون الشكل النهائى ، وهذه بالتالى يجب أن يؤكدتها ويوضحها التصميم .

هناك نظريات تؤكد أن التماثيل الإغريقية الكلاسيكية كانت مدهونة* ، وهناك دلائل على أن الأهرامات المصرية كانت مغطاة بالبياض . والقوة التى نحس بها الآن بالبلوكات الحجرية الضخمة المرصوفة الواحدة فوق الأخرى ، لم تظهر إلا بعد أن أزال العوامل الجوية هذه القشرة على مرّ الزمن . ولم يكن الرومان على اهتمام بكشف خرساتهم التى غطوها بالطوب والرخام : كما أن التعبير عن المادة لم يكن من أسس تصميماتهم : وفى عصر النهضة اتجه النحاتون

التعبير عن طبيعة المادة وانطباعاتها :

* أعطى ت . جرّين (T. Green) التعريف التالى للتعبير « استخراج الخلاصة (Essence) بوعى وعن قصد » .

T. Green, The Arts & Art of. Criticism, Princeton University Press, 1952, P. 258.

** نشر المعمارى الفرنسى هيتورف (J. Hittorf) عام ١٨٢٩ نظريته القائلة بأن الألوان كانت مستعملة بكثرة

لتكسية المعابد الإغريقية . وقبل ذلك لاحظ سيتوارت وريفت (Stuart & Revett) فى عام ١٧٥٠ بقايا ألوان على آثار إغريقية

فى أثينا وكتباً عن ذلك فى كتابهما المشهور Stuart & Revett, "Antiquities of Athens" 1762.

إلى التماثيل الإغريقية للوحى والإلهام ، وهذه كانت قد فقدت طبقات الدهان وتكشف لهم جمالها الناتج عن كشف موادها الأصلية الطبيعية . وقد ساعد ذلك على اتجاههم نحو إظهار المواد على طبيعتها كوسيلة للوصول إلى الجمال . وفى الفن المعاصر أصبح الاتجاه إلى إظهار الطابع الخاص لكل مادة وتشكيلها بما يناسب هذا الطابع وتأكيد ذلك بشتى الطرق إلى المشاهد ، اتجاهًا جماليًا معترفًا به . ومن الفنانين الذين نجحوا فى هذا الاتجاه وركزوا عليه الفنان برانكوزى (Brancusi) . فى تمثاله البرونزى « طائر فى الفراغ » ، وتمثاله الرخامى « السمكة » . وفى العمارة اهتم أصحاب الاتجاه العضوى وفى مقدمتهم فرانك لويد رايت باحترام الجانب الجمالى للمادة سواء أكانت طبيعية أم مصنعة يدويًا أو آليًا . وفى سلسلة من المقالات نشرت سنة ١٩٢٨ تحت عنوان (In the Cause of Architecture) قال رايت جملة المشهورة التى كان لها أكبر تأثير فى اتجاه معين فى العمارة مؤكداً بها مبدأ هامياً من مبادئ العمارة العضوية .

« كل مادة تتحدث لغة خاصة كما يتحدث الخط أو اللون أو ربما لأنها فعلاً تتحدث . ولكل قصة خاصة ، والشعور للمادة كالروح للجسد . ومن صميم عمل الفنان أن يكشف هذه الروح وأن يسمح لها بالانطلاق والازدهار من خلال عمل فنى بحوية وحياة لانهائية . فالحجارة لها شعور بالصلابة والتقصيف ، فن البازلت الشديد الصلابة إلى الحجر الرملى السهل التشكيل تتفاوت مشاعر وإحساسات دفيئة . فالبازلت يخرج شكلاً صلباً قاسياً ، والجرانيت له حبيبات أكثر خشونة ولون أقل تكاملاً . والخشب أخف وأنعم وأكثر ترحيباً من الحجر »^(١) .

غير أنه أعلن فى نفس المقالات أن « الخرسانة من الناحية الجمالية ليس لها أغنية ولا قصة ، كما أنه ليس من السهل أن نرى فى هذا الخليط أى خاصية جمالية »^(٢) . ويستمر رايت ليؤكد أن الخرسانة خليط له خواص ذاتية قليلة ، حيث إنه لاكتسابها أى شكل أو ملمس أو لون يجب أن تمنح إياه صناعاتها بخيال الإنسان . ومن ثم فهى واحدة من هذه المواد البدائية (Insensate Brute) التى تستعمل لتقليد غيرها ويجب أن تخضع للمعالجة « الفنية » لأى مزخرف داخلى . ويمضى رايت ليقول إنها كمادة كان من سوء حظها أن تستعمل ككمرات خشبية وفى زخارف مقعرة ككرانيش البياض وكبلاطات مستقلة فى الفراغ أو كمخرمات كالحواجز الفارسية السيراميكية ، أو أن تدفن ككتل فى باطن الأرض . إلى هنا وتشبيهات رايت متشائمة ومظلمة عن المادة . غير أنه يعود ويقول إن فى المادة فرصاً للعقل المبتكر . ثم يناقض ما ذكره من قبل فيقول إن هناك إغراءات لإنقاذ مثل هذه المادة الأمينة (Honest) من الانحطاط

لأن في هذا الخليط مادة بلاستيكية لم تجذب بعد الوسط التغيري الذي يسمح لها باتخاذ شكل بلاستيكي ، واستعمالاتها ما زالت كما لو كانت حديدًا أو ملاطًا « بياضًا » مصبوبًا في قوالب تتحكم في أشكالها ، ومن ثم فإن شكلها هو نتيجة لعملية الصب بدلًا من أن يكون منبعثًا من طبيعتها . وقد عدد رايت حقائق واضحة تتعلق بطبيعة المادة ، وهي أنها مادة مصبوبة ، بلاستيكية ، تقبل الانطباعات كما تقبل الاستمرار والتأسل إلى حدود بعيدة* ، كما أنها تقبل المعالجات الكيماوية لإعطائها ألوانًا ، أو إكسابها مناعة ضد تسرب المياه ، وهي مادة سهلة التشكيل في أولى مراحلها سهلة الكسر في شبابها عنيدة في كبرها ، ضعيفة دائمًا أمام إجهادات الشد .

هذه هي نظرة معماري كان من أوائل من استعملوا الهيكل الخرساني بنجاح عام ١٩١١ في الفندق الإمبراطوري في طوكيو ، ولكنه لم ير إلى حين كتابة هذه المقالات في الاحتمالات الإنشائية للخرسانة المسلحة أي دور معماري ، بل غطاها كما فعل ساليقان من قبل بالإنشاء الحديدي بالطوب أو الحجارة أو التركوتا أو ببلوكات الخرسانة الجاهزة . قد يبرر ذلك طبيعة رايت كمعمار حساس لوحى المواد الطبيعية والمعالجات السطحية . وقد أكد رايت أن في الطبيعة البلاستيكية للخرسانة تكمن القيمة الجمالية للمادة ، وقد أشار إلى أن هذه الخاصية هي التي تميز الخرسانة من الحجارة . غير أنه ركز على استغلال هذه الإمكانية في تصميم أسطح زخرفية تظهر فيها الطبيعة البلاستيكية للخرسانة ، مشيرًا إلى أن استعمال البلوكات الخرسانية الجاهزة ذات الانطباعات البلاستيكية هي الحل المنطقي الوحيد للاستعمال المعماري للخرسانة .

ومع تأكيدنا لأهمية هذه الخاصية البلاستيكية في التعبير المعماري بالخرسانة إلا أننا نرى أن هذه الخاصية تظهر بوضوح أقوى في إمكانية الخرسانة المسلحة في التشكيل في أشكال إنشائية بلاستيكية . هنا تبتعد الخرسانة المسلحة حقيقة عن الابتذال الإنشائي في استعمالها كما لو كانت حجراً أو حديدًا أو خشبًا ، كما تبتعد عن الابتذال الزخرفي في استعمالها كما لو كانت « بياضًا » مصبوبًا في قوالب أو حجراً منحوتًا . هنا تتجسم الطبيعة الذاتية للخرسانة في أنفع وأكفأ وأجمل صورها . وبجانب هذا الاتجاه الإنشائي البلاستيكي نجد أن هناك اتجاهات أخرى للتعبير المقصود المباشر أو للتعبير عن طريق المعالجات السطحية التي أشار بها وركز عليها فرانك لويد رايت في مقالاته السابقة . وهناك

* لم يحقق رايت هذه الإمكانيات بالخرسانة المسلحة إلا في مشروعه لشركة جونسون واكس عام ١٩٣٥ وفي مبنى متحف جوجنهايم عام ١٩٥٨ .

خاصية أخرى أشار إليها رايت في نهاية سرده للحقائق المميزة للخرسانة ، وهي صلابتها وقوتها في الانضغاط . وضعفها النسبي في الشد مما يشجع على تأكيد هذه الطبيعة الإنشائية بالتشكيلات الإنشائية التي تعبر بأوضح الطرق عن هذه الخاصية .

أولاً - الخرسانة كمادة بلاستيكية متماسكة :
الاتجاه الإنشائي

الخاصية البلاستيكية للمادة تشجع الفنان على تأكيد الانسيابية بين أجزاء العمل الفني . والخرسانة المسلحة كمادة بلاستيكية تمتاز بأن الكفاية الإنشائية والتعبير الفني عن المادة يسيران فيها جنباً إلى جنب . والتكوينات الأقرب إلى الإنشاء المثالي هي الأكثر تعبيراً . وفي المنشآت ذات الأسطح الفعالة المنحنية التي عرفناها في الفصول السابقة يصبح التعبير البلاستيكي جزءاً من تكوينها ، وأي عرض أمين لها هو في ذاته تعبير عن المادة . فالوحدات الإنشائية البحتة في سقيفة مدرجات ملعب البيسبول بمدينة قرطاجنة بكولومبيا (شكل ٥٢٨) والسوق المغطاة في بسكيا (Pescia) بإيطاليا (شكل ٥٢٩) ، وسقيفة مدخل نادي نوتيكو (Nautico) بهافانا بكوبا (شكل ٥٣٠) ، هي في حد ذاتها تعبير فني عن خاصية اللدونة في الخرسانة المسلحة ، وهي توفر للمشاهد لغة جمالية جديدة وأصيلة . كما تعبر جميع التشكيلات المزدوجة والمفردة الانحناء السابق بحثها عن اللغة الجذيدة التي تقدمها الخرسانة المسلحة في مجال التشكيل المعماري .

وصلة العمود بالبلاطة المحمولة تعبر عن طبيعة المادة . وهي في الخرسانة المسلحة صلة انسيابية مستمرة تعتبر الأعمدة المشرومية أحسن تعبير عنها — وهي تعبر في الوقت ذاته عن الانتقال الانسيابي للأحمال من المستوى الأفقي الحامل إلى الأرض . وقد أظهر روبرت مايار حساسية بطبيعة المادة مصحوبة بفهم عميق للإنشاء (شكل ١٧١ ، ١٧٢) ، والمهم أن نقارن أشكاله المشرومية بأخرى مخروطية أو هرمية لتحقيق من هذا الاهتمام بالتعبير . والأعمدة المصنوعة من الصلب أو الخشب تقدم تناقضاً يوضح نفسه تلقائياً . كما تقدم تطبيقات فرانك لويد رايت للأعمدة المشرومية (شكل ٥٣١ ، ٥٣٢) وأعمدة كارلو مولينو (Carlo Mollino) في نادي الانزلاق على الجليد في بحيرة تيرو بإيطاليا (شكل ٥٣٣) أمثلة ناجحة في نفس الاتجاه . وفي المثل الأول اتسعت رموس الأعمدة لتكوين وحدات السقف . وفي حالات أخرى يتسع العمود دائرياً ليكون السقف جميعه في المطعم الدائري على شاطئ أوستيا بإيطاليا (شكل ٣٤٧) وهنا يبلغ التعبير البلاستيكي الانسيابي أقصى درجاته . هنا يندمج الحامل والحمل في وحدة إنشائية تعبيرية واحدة .

وفي نفس سقف المطعم السابق استعملت ظاهرة إنشائية أخرى أكدت التعبير المقصود ، وهي

ظاهرة الأعصاب المتقاطعة المستمرة ، وهي تدل دلالة واضحة على عملية الصب التي هي جزء لا يتجزأ من طبيعة المادة . مثل هذا التكوين مستحيل التنفيذ بالخشب والصلب . وقد استعمل نيرثي هذا التشكيل بوعي إنشائي وحساسية في نادي شينانسيانو للرقص (شكل ٥٣٤) وفي الاستاد الأولمبي في روما (شكل ٣١٠) . وفي الأسقف الأفقية استعمل نيرثي هذا التكوين في مخازن الطباقي في بولونيا بإيطاليا (شكل ٥٣٥) وفيها تظهر حساسية للانسياب من البلاطة والأعصاب وبين الأعصاب ذاتها . هذا التصرف لا يترك مجالاً للشك في طبيعة المادة البلاستيكية . وقد استعملت الحشوات في تنسيق مختلف في سقف بديروم مصانع (Gatti) للصوف بروما (شكل ٥٣٦) . وقد أشار نيرثي إلى أن الأعصاب نسقت في هذا السقف على أساس الخطوط المتساوية الاستاتيكية (Isostatic Lines) لعزوم الانحناء الرئيسية . هذه الأعصاب المنحنية تمتد مستمرة بين الأعمدة الحاملة وتتقاطع على زوايا قائمة . وهناك مثل آخر يستحق الذكر لنجاحه في هذا الاتجاه من التعبير وهو السقف « الثلاثي الأبعاد » لمبنى الفنون بجامعة ييل والمكون من حشوات على شكل أهرامات منتظمة مثلثة القاعدة (Tetrahedrons) . ومع أن هذه الأسقف التي وضع تصميمها المهندس المعماري « لويس كان » من فلاديلفيا إنشائية أساساً ، فإنها تعبر بطريقة ناجحة عن طبيعة مادتها (شكل ٥٣٧) . والحرسانة المسلحة في هذا الاتجاه خلقت لغتها الجمالية النابعة من الكفاية الإنشائية البحتة .

والحرسانة المسلحة بما لها من خاصية التماسك والاستمرار المادي والمهندسي تسهل إنشاء الأسقف الكابولية المتكررة من أعمدة رأسية مستمرة ، ومن ثم يصبح تأكيد هذه الإمكانية تعبيراً معمارياً عن خاصية تتميز بها الحرسانة عن أي مادة إنشائية أخرى . وقد حاول هنييك أن يعبر عن هذه الإمكانية بطريقة مزدحمة في تصميمه لمنزله في مدينة بوزج لارين ، وكانت النتيجة استعراضاً أكثر منها تعبيراً (شكل ٢٠) . وقد أكد بيريه بطريقة ناجحة كوابيل العمارة رقم « ٥ » شارع فرانكلين وذلك باستعمال بلاطات مستوية لشرائط مستمرة على الكوابيل والأعمدة وبلاطات بشكل الزهور على الحشوات (شكل ٤٨) . وقد استعمل جانييه الكوابيل بنجاح بمشروعه للسقيفة الخارجية للمحطة المركزية للسكك الحديدية للمدينة الصناعية المثالية (شكل ٥٩) . هذه الإمكانية التي تمتاز بها أسقف الحرسانة المسلحة للبروز بعيداً عن نقطة الارتكاز قد استعملها المهندس تروخا بطريقة دراماتيكية في سقف الاستاد بمديريد (شكل ٥٣٨) كما استعملها نيرثي بوحدات خطية منحنية في سقف أستاذ فلورنسا (شكل ٥٣٩) . وقد استعمل المهندسون المعماريون سولانو وأورتيجا وبوريانو سقفاً قشرياً خرسانياً ذا بروز

جرىء لسقف استاد اليبسبول فى قرطاجنة بكولومبيا (شكل ٥٢٨) . وفى هذا السقف نجد أن القبوات الكابولية والمنحنيات القوية فى المسقط والقطاع والفتحات فى مؤخرة السقيفة جميعها كانت وسائل تعبيرية أكد بها المهندسون طبيعة المادة المستعملة وطريقة الإنشاء . كما استغلت القبوات الطويلة المفردة الانحناء ككواويل مزدوجة متوازنة فى محطة صيانة الأتوبيسات فى بوجوتا بكولومبيا محققة نفس القوة التعبيرية (شكل ٥٤٠) . وقد استغل فرانك لويد رايت هذه الخاصية لتأكيد أفقيات منزله لإدجار كاوفمان فى بنسلفانيا (شكل ٥٤٢) .

وقد برع المهندس كاندلا فى استعمال القطاع الزائدى المكافئ فى أسقف كابوليه معبرة كما فى سقف كنيسة الإرسالية مع المهندس المعماري لامورا (شكل ٣٥٧ ، ٣٥٨) . وهنا نجد تناقضاً غير مريح بين السقف الخرساني الخفيف الجرىء وبين القاعدة الحجرية الثقيلة مما أفسد التعبير العام . وقد عالج نفس المهندسين هذا الشكل بطريقة أكثر نقاء وتأكيداً للخاصية البلاستيكية للخرسانة المسلحة فى كنائسهم الأخرى السابق الإشارة إليها فى مونترى (شكل ٣٦٥) وفى كويا كان (Coyoacan) بالمكسيك (شكل ٣٦٧) حيث لم تتداخل أى وحدة فى المبنى مع التعبير الواضح للسقف القشرى . كما برزت الاتجاهات الكابولية فى تكوينات بالقطاع الزائدى المكافئ فى العلامة المميزة فى كويرنافاكا (Quernavaca) بارتفاع ١٠ متر (شكل ٥٤٢) والمظلة الكبيرة فوق غرفة الحارس ، والمظلات الأصغر المغطية للممر فى معامل سيبا (Ciba) بمكسيكو (شكل ٥٤٣) . وجميعها أمثلة تعبر عن بلاستيكية وتماسك التشكيل الخرساني عن طريق الكواويل الجريئة المستمرة المكونة من مسطحات رقيقة مزدوجة الانحناء .

الاتجاه التعبيري :

التعبيريون فى محاولاتهم للوصول إلى أشكال جديدة للوظائف الحديثة وجدوا فى بلاستيكية الخرسانة المسلحة فرصة للتشكيل الحر الحديد الذى يصل بهم إلى هدفين : أولهما التعبير بالشكل الحديد عن طابع المبنى ، وثانيهما التعبير عن بلاستيكية الخرسانة ، وذلك عن طريق انسياب أجزاء الشكل بعضها فى بعض . وهم لم يتجهوا نحو هذا الهدف عن طريق الانسياب والاستمرار الإنشائي ، بل عن طريق الانسياب الهندسى بالمستويات الأسطوانية المقعرة والمحدبة أو المائلة . والاسكتشات الأولى للمعماري الألماني مندلسون تعكس هذا الاتجاه التعبيري الحديد (أشكال من ٥٤٤ إلى ٥٤٨) . كما أن تصميمه لبرج أينشتين فى بوتسدام بألمانيا عام ١٩٢٠ فريد فى هذا الاتجاه (شكل ٥٤٩) . وهنا عبر المصمم عن التماسك المادى فى الخرسانة عن طريق الأركان المنحنية والفتحات الصغيرة الدائرية والقاعدة الهرمية للمبنى واستمرار الخطوط والمستويات المنحنية . هذا الاتجاه واضح جداً فى المدخل حيث استمرت السقيفة

من فوق الباب إلى أسفل لتندمج في سور تراس المدخل المرتفع . كما أن سقفيات الفتحات مستمرة مع الكتلة المحيطة . ومن أعمال مندلسون الأخرى مصنع القبعات في لوكنبالد حيث تكون الشكل العام من ثلاث كتل هرمية ذات ميول مختلفة (شكل ٣٥٠) . ومن الأمثلة الفريدة السابق الإشارة إليها في هذا الاتجاه التعبيري مبنى الجويتينام بمدينة دورناخ بسويسرا الذي صممه المعماري شتاينر كقطعة من التشكيل الخرساني العضوي المتكامل الممتد في الأرض كالحدور ، ومنها تنمو الأعمدة والحوائط التي تتكامل مع السقف بأشكال انتقالية محدبة ومقعرة بدون تحديد لبداية ونهاية للحامل والمحمول (شكل ٦٧) .

وقد اتخذ لوكوربوزيه مهندس المكعبات والأسطوانات اتجاهًا تعبيريًا جديدًا في معظم مبانيه الخرسانية وهو اتجاه الخرسانة العارية (Beton Brut) فقد ابتداء بعد الحرب العالمية الثانية باستعمال مجموعة تكوينات بلاستيكية حرة في حديقة السطح في مجموعة مرسيليا السكنية . وقد أحاط السطح بسور عال وملاء بأشكال حرة (Sculptural Elements) من مداخل كبيرة منحوتة وجبل خرساني مملوء بالكهوف والأنفاق للعب الأطفال وأرائك خرسانية منحنية للأمهات وحائط خرساني كبير للعرض السينمائي (شكل ٥٥١) . الجميع تشكل في تكوينات حرة تتناقض مع استقامة التكوينات الهيكلية في باقي المجموعة السكنية ، وبأشكال تعود بنا إلى مشروعات المهندسين الفرنسيين بوليه ولودوه ، وإلى أعمال المهندسين جاودي وستاينر التي لا شك أن لوكوربوزيه قد رآها وتأثر بها . وقد تطور لوكوربوزيه في هذا الاتجاه إلى استعمال التكوينات البلاستيكية في الشكل العام لمبانيه بعد أن كانت تقتصر على الأسطح والسلامة الداخلية والخارجية . هذا التطور سيطر على تصميماته لمدينة شانديجار وبخاصة في مبنى المحكمة العليا ، وسقفه النهائي الذي استعمله كمخزان لمياه الأمطار (شكل ٥٥٣) . كما أنهى لوكوربوزيه شبكة الأسلحة أمام الواجهة بمنحني إلى الخارج لكي يكتمل التعبير البلاستيكي للواجهة والسقف العام . وفي كنيسة نوتردام دي هوه (Notre Dame du Haut) في رونشان (شكل ٥٥٤) استعمل حوائط ثقيلة منحنية مائلة يتركز عليها سقف منحني . وهي في تأثيرها العام ترجع بالمشاهد إلى المقابر الأرضية الرومانية (Catacombs) أو المناسك الحجرية في العصور الوسطى ، أو إلى أعمال التعبيريين في أوائل القرن العشرين .

الاتجاه الزخرفي : الاتجاهات السابقة للتعبير عن بلاستيكية الخرسانة استعملتها كمادة إنشائية انسابت وحداتها واستمرت مادياً وهندسياً سعيًا وراء الكفاية الإنشائية أو التعبير الفني البلاستيكي . وقد تستغل هذه البلاستيكية وتؤكد عن طريق إمكانياتها في الانطباعات وفي التشكيل في قوالب . وقد قرر رايت أن هذا

الاتجاه هو الاستعمال السليم الوحيد بالخرسانة عن طريق البلوكات الخرسانية المتكررة كأسطح خارجية لقالب خرساني .

وقد بحثنا من قبل الدور الذي تلعبه هذه الوحدات ، كأسطح لحوائط أو كقواطع مفتوحة زخرفية ، نحو غنى السطح الخرساني . ومن المهم أن نلفت النظر هنا إلى أهمية اختيار التصميمات الزخرفية البلاستيكية غير الميكانيكية المناسبة للخرسانة ولطريقة الصب . كما يجب تلافى الزخارف ذات الأركان الحادة ؛ إذ أنها غير عملية وعرضة للكسر ومناسبة لطبيعة النحت الزخرفي في الحجر . كما أن نسب الخمرات الخرسانية يجب أن تكون مناسبة لإمكاناتها بحيث لا تكون رفيعة فتختلط على الرائي بنسب الزخارف الحديدية ، ولا سميكة فتقترب من نسب الزخارف الحجرية المنحوتة . كما يجب أن تكون الوحدات بعضها مع بعض تكويناً متكاملاً بلاستيكيّاً حرّاً بالمادة وبالفرغ .

وهناك اتجاهات ناجحة يتعاون فيها المعمارى والفنان على استغلال السطح الخرساني كمجال للتعبيرات الفنية ذات المسطحات الكبيرة . وهنا تتراوح العمارة والفن ويصبح التعبير الفني والملمس أساسياً في الوحدات المعمارية بدلاً من أن يكون مضافاً إليها أو زائداً عليها . والعمل الفني هنا سيكون معبراً عن معنى معين متصل بوظيفة المبنى في المجتمع أو معبراً عن بلاستيكية المادة عن طريق ملء وحدات مقفلة بسطح غنى بالظل والنور . ومن أوائل المعمارين الحديثين في هذا الاتجاه لو كوربوزيه الذي استغل حوائط الطابق الأرضي بمجموعاته السكنية في مرسيليا وفي نانت (Nantes) لعمل انطباعات غاطسة في الخرسانة لأشكال الموديولور (Modulor) (شكل ٥٥٥) . وفي الولايات المتحدة اتجه التعبير الفني بالخرسانة إلى الوحدات السابقة الصب في قوالب من الجبس أو الرمل المرطب أو الأسمنت . كما تعاون المعمارى والنحات في إخراج مسطحات كبيرة من هذه البانوهات البلاستيكية ، ومن أمثلة ذلك مركز العرض في ساحة ماكورمك على شاطئ البحيرة بشيكاجو (Mc Coermick Place) وقد غطيت حوائطه بثلاثة وأربعين بانوها بارتفاع ٥٠ قدماً . والبانوه يتفاوت عرضه من ١٦ إلى ٥٠ قدماً . وكل بانوه يتكون من إحدى عشرة وحدة أفقية ذات ركام مكشوف وانطباعات بلاستيكية . وقد قام بتصميم وتنفيذ البانوه النحات نيقولا (C. Nivola) مع المعمارين شو وميتز ودوليو (Shaw, Metz & Dolio) (شكل ٥٥٦) . وقد قام نفس النحات بتصميم البانوهات السابقة الصب لواجهة المبنى المركزى لشركة ميوتوال أوف هارتفورد مع المعمارين شيرود وميلز وسميث (Sherwood, Mills & Smith) (شكل ٥٥٧) . وقد أصبحت البانوهات الخرسانية

السابقة الصب مجالا متسعا لاندماج الفن والعمارة لخلق مسطحات على درجة عالية من الغنى البصري والتعبيري .

ثانياً : الخرسانة كمادة قوية في الانضغاط . الاتجاه المباشر والطبيعي للتعبير عن هذه الخاصية هو تشكيل المادة في أشكال تضمن تحويل أغلب الإجهادات إلى إجهادات انضغاط . وجميع الأوضاع الإنشائية ذات الأسطح الفعالة إذا ما ظهرت كذلك للمشاهد تكون كاشفة ومعبرة ومؤكدة لهذه الصفة المصاحبة للخرسانة .

والجمع بين الخرسانة والصلب في منشأ واحد بحيث تشغل الأولى قطاعات الانضغاط والثانية قطاعات الشد يعبر عن خواص الالئتين معاً . هذا التعبير يظهر بصراحة في جميع التكوينات الأسقف المعلقة حيث تتحول الخرسانة إلى أعمدة أو عقود على أشكال قطاعات مكافئة تعلق منها كابلات من الصلب تحمل أسقفاً معلقة . هذه التكوينات على أعلى درجة من الإيضاح والتعبير لوظيفة كل من الأعمدة أو العقود الخرسانية والكابلات الصلب ولطبيعة كل من المادتين . وهنا يلزم وجود تناقض واضح وصريح بين القوة والضعف في العقود الخرسانية والخفة في كابلات الصلب . «الكوبري» السويدي على نهر انجرمان (Angermaalvn) في مدينة هامر (Hammar) مثل ناجح لهذا النوع من التعبير (شكل ٥٥٨) .

والتعبير عن هذه الخاصية في الخرسانة قد يكون عن طريق تأكيد قوتها في وحدات الانضغاط في الأسقف القشرية المنحنية أو الأعمدة . وقد اتخذ المعمارى أوجست بيريه هذا الاتجاه التعبيري في أعمدته الخرسانية الأسطوانية التي أعطاها نسباً رشيقة في كنيسة نوتردام دي رانسي (شكل ٥٥٩) وسانت تيريز بمونماني (شكل ٤٨٩) ، وذلك للتعبير عن قوة الخرسانة في الانضغاط . كما قسمت الأعمدة الركنية الكبيرة في برج الكنيسة الأولى (شكل ٥٢) لنفس الغرض إلى حزمة من الأعمدة الرشيقة الدائرية . وقد حذف الأعمدة الخارجية للحزمة في الارتفاعات العليا للبرج لتصغير القطاع الكلي ونتج عن ذلك تأثير متناقض في البرج . هذا الاتجاه في تصميم الأعمدة تسبب في تشابه تأثيرها العام مع الانشاء الخشبي .

وهناك اتجاه آخر نحو تأكيد خاصية الانضغاط خلال التعبير عن الثقل والكتلة والضعف للإنشاء الكتلي (Mass Construction) . وهنا يختلط الأمر بين خاصية تحمل الانضغاط في الخرسانة العادية وخاصية القوة في الانضغاط مع تحمل الشد في الخرسانة المسلحة . وقد اتجهت تصميمات جازنييه المنفذة في مدينة ليون إلى التعبير عن خاصية الانضغاط خلال الكتلة والضعف ، فاستعمل

كتلا ثقيلة ضخمة بمنحنيات كوحدات انضغاط لصالة الاجتماعات والاستاد بمدينة ليون^(٣) . والأخير له أعمدة ضخمة تحمل مجموعات من عقود ثقيلة . والعقد المركزي الكبير ذو الدعامات الثقيلة المدرجة يؤكد التماثل في التشكيل بينه وبين الخرسانة الرومانية . كما استعمل جانبيه أعمدة دائرية كبيرة القطاع تحمل كميات ضخمة في مبنى الرياضيين بليون ، إلا أن طبيعة المادة البلاستيكية قد ميزتها عن الأعمدة الحجرية بفرضها الاستمرار المادي والهندسي بين العمود وقاعدته المشتملة بانتقال انسيابي بينهما . هذا التعبير عن طريق الكتلة (mass) يتطلب فتحات ذات مسطحات صغيرة . وقد يحقق استعمال التشابيك أو الوحدات الزخرفية في نقط محدودة تخفيفاً للمال في الأسطح المصمتة الثقيلة . كما تساعد السقفيات الأفقية البارزة على مثل هذه الأسطح الرأسية في تأكيد خاصيتها كوحدات انضغاط ، ويعتبر معبد يونتي في أولك بارك بالينوى الذى صممه فرانك لويد رايت مثلاً ناجحاً لهذا الاتجاه في استعمال الخرسانة .

التعبير عن طريقة الصناعة :

أطفال القرية مجتمعون حول الحداد أو النساج اليدوى ، وسكان المدينة واقفون حول البنائين أو مراقبون لمكينات دق الخوازيق أو خلط الخرسانة ، جميعها من المشاهد المعتادة في نيويورك أو القاهرة أو طوكيو .

« ويجد الناس سروراً عميقاً إذا ما نظروا لإنتاج أحدهم فيما بعد وهم على علم سابق بالطريقة التى تم بها العمل . وسيكون سرورهم أعظم إذا ما اكتشفوا بأنفسهم طريقة الصناعة بدون مراقبتها . وعلامات المطرقة الواضحة على لوح النحاس ستسهل طريقة التعرف ، وستبدو كمسحة من الجمال أكثر منها عملاً غير منته »^(٤) .

والخرسانة كمادة بلاستيكية تتيح مجالات لمثل هذه الاتجاهات التعبيرية عن طريقة الصناعة . مثل هذه الاتجاهات تؤدي إلى متعة فنية للمشاهد كما تضيف شخصية وترابطاً للمبنى بأسره ، الأمر الذى يمنحه طاقة فنية تساعد على اكتمال متعته الجمالية .

وللتعبير عن طريقة الصناعة الخرسانية يتجه المصمم إلى تأكيد طبيعة المعدات والآلات وطرق المعالجة المختلفة عن طريق تأكيد آثارها على المادة ذاتها وعلى طريقة تصميمها وأشكالها الناتجة . وقد نتج عن هذا الاتجاه أشكال معمارية بالخرسانة شاعت وأصبحت مظاهر المذهب شكلى تعبيرى عام للخرسانة العارية (Béton Brut) وامتد هذا الأسلوب التعبيري الصريح ليكشف كل ما هو مغطى مبتدئاً بمبنى الطوب البدائى الظاهر ومنتهياً بترك الوحدات الميكانيكية والكهربائية مكشوفة على الخوازيق والأسقف .

سبق أن شُرِحت طرق الكشف عن انطباعات الشدات في المسطح الخرساني الناتج . وقد كانت أعمال بيريه وتلميذه لوكوربوزييه في فرنسا قيادية وسباقة في هذا الاتجاه . كما ظهرت استعمالات ناجحة في اليابان لتلميذ لوكوربوزييه المعماري كنزو تانجى ، وهذه بلغت حداً بعيداً من التعبير عن طريق الصناعة .

وهنا يجدر بنا أن نفرق بين اتجاهين للتعبير عن طريقة الصناعة عن طريق الشدات ، فقد يتجه المعماري إلى إظهار تأثيرها في السطح والملمس : وقد سبقت الإشارة إلى بعض احتمالاته . وقد يذهب المعماري في هذا الاتجاه إلى حد أن يترك لطبيعة الشدات ، خشبية كانت أو معدنية ، أن تتحكم في الشكل العام للتكوين الخرساني كما في قول أوجست بيريه :

« وهكذا يتجه المصمم إلى تحقيق مظهر خارجي بهيج عن طريق الالتزام بالخطوط المستقيمة التي يفرضها استعمال الخشب ، ويمكننا استعمال الأشكال المنحنية ، ولكنها ستكون مرتفعة الثمن جداً . أليس حقيقة أن الاستعمال الاقتصادي للمادة يتحكم في طرازها » (٥)

وهنا تظهر خطورة التماهى في الارتباط بطبيعة الشدات ، فمن الممكن استعمال الحوائط المستقيمة كنتيجة وتعبير عن دخول الشدات الخشبية في البناء الخرساني . ولكن إذا أصبحت هذه الأشكال هي المفروضة على الخرسانة المسلحة ، لأن الأشكال المنحنية تتطلب شدات باهظة التكاليف ، فهذا ينطوي على مبالغة في تقدير أهمية دور الشدات . وحتى لو سلمنا بأن الاقتصاد في المادة يقرر طرازها — وهو محل خلاف في الرأي — فأى من المواد نقصد هنا بالاقتصاد : هل هي الشدات الخشبية أو الخرسانة ذاتها ؟ لقد تبين من قبل أن استعمال الأشكال المنحنية ينتج عنها اقتصاد في كميات الخرسانة المسلحة ذاتها . والنتيجة الاقتصادية النهائية تتغير حسب ظروف وطبيعة التصميم ، وهذه في نفسها متغيرة ليس في مقلوبها فرض اتجاه مطلق لعمارة الخرسانة المسلحة .

التعبير عن طريق الصناعة يمتد إلى تأكيد وتوضيح عملية الصب سواء تمت على الموقع أو في المصنع . وقد نوقشت طرق استغلال الصفة البلاستيكية للخرسانة في الوصول إلى أشكال معمارية معبرة . وللصب في المصنع خصائص وحدود معينة تفرض نفسها على التشكيل المعماري ويصبح تأكيدها واحترامها في نطاق التعبير السليم عن طريق الصناعة .

يفرض سبق التجهيز بصفة عامة التوحيد القياسي والتكرار والنظام ، والمصمم ينبغي له أن يحترم

هذا ويستغله لمصلحة تصميماته ، وذلك بتأكيد كمصدر للجمال بدلا من محاولة التخلص منه كقيود محدد لحرية المصمم . وسبق التجهيز يفرض باكيات متساوية العروض والارتفاعات بنسب ثابتة تضمن التوافق (Harmony) بين عناصر المبنى ، وبينها وبين الشكل العام للمبنى ، وبين المبنى ذاته والمنطقة بأكملها . وهنا تجدر الإشارة إلى مبدأ هام وهو تأكيد الفواصل بين البانوهات سواء أكانت بعروض المعدل الإنشائي أو المعدل الجزئي المعماري ، وذلك بالارتداد بمادة اللحام إلى الخلف قليلا بدلا من محاولة تقفيلها أو تغطيتها . ذلك التأكيد هام من الناحية الإنشائية ومن الناحية الجمالية التعبيرية (شكل ٤٤٥) . كما يحسن لنفس الغرض التعبيري تأكيد الأسقف على الواجهات في شرائط أفقية واضحة ، بارزة أو على مستوى الواجهة ، بدلا من الارتداد بالأسقف إلى الخلف وتكسيته بالطبقة الخارجية من الحائط .

والفتحات قد تفرغ بانتظام في الحوائط الحاملة . إلا أن الحل الأوفق هو تصنيع بانوهات الحوائط بعرض الجزء المصمت مع ترك الفتحات كفراغات بين البانوهات وهذه تملأ ببانوهات جاهزة خاصة بها (شكل ٥٦٠) : هذه البانوهات قد تكون خشبية أو معدنية تهيأ فيها الفتحات والجلسات . النتيجة الطبيعية النهائية لمبنى خرساني سابق التجهيز هي النتيجة المعبرة عن طبيعة الصناعة في شكل تكعيبي منتظم بحوائط خرسانية بسيطة في باكيات على معدل رأسي وأفقي ثابت ، وبوحدات مستوية متجانسة ذات تقسيمات رأسية وأفقية مؤكدة بين أسقف أفقية ثابتة العمق ، وفتحات منتظمة في بانوهات خاصة بها تتبع نفس المعدل الإنشائي أو المعدل الجزئي المعماري . الحوائط ذات سطح خرساني منهي نهوًا ناعمًا أو خشنًا على مستوى عال من الصناعة نتيجة لطبيعة الصب الأفقي في المصنع مع إمكانية السيطرة على اللون والملمس والقشرة الخارجية إن وجدت . والبلوكات الخرسانية الزخرفية — كأسطح خارجية لحوائط جاهزة أو مصبوبة على الموقع — ما هي إلا مظهر معماري لعملية سبق التجهيز وما تتيحه من إمكانيات للأسطح الزخرفية في الداخل والخارج (أشكال من ٤٩٦ إلى ٤٩٩) .

وفي الدواخل نجد أن الأسقف — أفقية كانت أم منحنية — تعتبر مجالاً للتعبير المعماري عن طرق سبق التجهيز الجزئي بوحدات متكررة . وفي هذا الاتجاه تكمن أسرار نجاح أسقف المهندس بيير لويجي نيرفي وتأثيرها البصري القوي (شكل ٥٢١) . فالسطح الداخلي لمبانيه يمتلئ بالظلال والنور على وحدات متكررة ، وعلى أشكال معينة أو مربعات أو منحنيات ، مكونة في مجموعها سقفًا متكاملًا على أشكال مستوية أو مفردة أو مزدوجة الانحناء ، وبمساقط معمارية تتناسب مع الاحتياج

المعماري . وتكون هذه الوحدات المتكررة ذات الأعداد الهائلة أعصاباً منتظمة وبانوهات على شكل بلورات (Crystals) تمتد إلى أعمدة ظاهرة مستمرة مع محور السقف ذاته . هذا التكرار الهائل المنتظم لم يكن ممكناً بدون سبق التجهيز لوحدات منتظمة متكررة أضافت بظهورها جمالا للسطح وتعبيراً قوياً عن طبيعة الصناعة . وهنا اتحدت الكفاية الإنشائية والصناعية لتعطي سطوحاً قوياً معبراً . مثل هذا الاتجاه ليس له حدود إنشائية وجمالية . فأشكال الوحدات السابقة الصب المكونة للشدات الدائمة والمكونة للشكل العام للسقف لا قيود عليها . فالتشكيلات على عدد قليل من القوالب ، تعطي في النهاية أعداداً هائلة من البانوهات ذات الطاقة اللانهائية في الجمال السطحي والتعبيري .

ومن طرق الصناعة ذات التأثير الكبير في الواجهات طريقة سبق التجهيز على الموقع للبلاطات ثم رفعها على أعمدتها حتى مستوياتها النهائية (Lift Slab) . فالبلاطات الأفقية المتماثلة ذات العمق الثابت والشكل الهندسي المنتظم البسيط والتي تبرز بقوة على أعمدة منتظمة تستمر بكامل ارتفاع المبنى ، هي في ذاتها تعبير منطقي سليم . وهنا تبرز ضرورة تأكيد أفقية الواجهات وبساطتها واستمرارها المطلق (شكل ٥٦١) ، كما يجدر تأكيد تساوى الباكيات وانتظامها بين أعمدة من الصلب أو الخرسانة تمتد خلال بلاطات أفقية متطابقة كابولية كتعبير مباشر ذاتي عن طريق الإنشاء ، كما يجب أن تؤكد الحوائط الخارجية في هذه الحالة أفقية الواجهة وطبيعتها كواجهة غير حاملة (شكل ٥٦٢) .

التعبير عن طريقة التجميع الإنشائي :

قال أوجست بيريه في إحدى كتاباته المشهورة :

« من يخفي جزءاً من هيكل إنشائي يحرم نفسه من الزخرف الأصيل الوحيد ومن أجمل حلية يمكن للعمارة أن تتحلل بها .

ومن يخفي كمرّة يرتكب خطأ .

ومن ينشئ كمرّة مزيفة يرتكب جريمة^(٦) .

وتأكيد الإنشاء والتعبير عنه ، سواء بكشفه أو بالإشارة المعمارية إليه ، هو تعبير عن الحقيقة الأساسية المطلقة ؛ حقيقة مبنية على النظام والمنطق السليم وهما أساس الجمال . ومن ثم يكون تأكيد الإنشاء والتعبير عنه ، سواء بكشفه أو بالإشارة المعمارية إليه ، تأكيداً منطقيّاً سليماً لحقيقة مطلقة تؤدي إلى الجمال والمتعة الفنية المعمارية . وكما ذكرنا فإن هذا التعبير قد يتأتى بالكشف الصريح أو بالإيحاء . وإذا رجعنا إلى الخلق العضوي نجد أن هيكل ورقة الشجر مكشوف ، في حين أن الهيكل

العظمى للإنسان مكسو بالجلد والعضلات (شكل ٥٦٣ ، ٥٦٤) . وفي الحالتين يعتبر الإنشاء المرئي أو المحسوس به من البواعث الأساسية للشكل الجديرة بالالتفات والتقدير .

ولتوضيح التأثير الجمالى للتعبير الإنشائى يجدر بنا أن نشير إلى مثلين لنفس المهندس وهو الإنشائى نيرثى ، وقد نتج عن اختلاف المبدأ المعمارى العام فى الحالتين اختلاف مستويات النجاح الجمالى . الأول قصر الرياضة بروما عامى ١٩٥٨ ، ١٩٥٩ (شكل ٥٦٥) وفيه اختفى المنشأ الناجح داخل أسطوانة رأسية زجاجية ذات أعمدة رأسية مستقلة . وذات إنشاء مخالف تماماً لإنشاء القبة الداخلية ، وبدا حرم التكوين الخارجى من التكامل الشكلى على أساس إنشائى انتفاعى ، الأمر الذى لم يحدث فى مثل ثان لنفس المهندس فى قصر الرياضة الصغير سنة ١٩٥٧ مع المعمارى فيتيلوزى (Vitellozzi) (شكل ٥٦٦) . فى هذا المبنى الأصغر ظهرت الأعمدة المائلة الحاملة للقبة والمستمرة هندسياً معها على الخارج بطريقة مباشرة تعتبر من أنجح الأمثلة المعمارية للتعبير الإنشائى الصريح .

التشكيلات الإنشائية الخطية : فى أغلب التشكيلات ذات الأسطح الفعالة يكون الإنشاء بطبيعته جزءاً كبيراً من الغلاف الخارجى . أما فى التشكيلات بالوحدات الخطية فلا يلعب الإنشاء دوراً ما كمغلف للفراغ ، بل راسماً له ، حيث يكون تعرضه للخارج دائماً خطياً . وهناك اتجاهات مختلفة ينبى عليها التعبير المعمارى عن طبيعة الإنشاء الهيكلى ، وبالتالي المعالجة الخارجية للإنشاء الخطى والغشاء المغلف له .

فى الهياكل الخطية المستمرة ذات الدور الواحد وذات البحور الواسعة قد يتجه المصمم إلى تأكيد الهيكل على الواجهة والداخل سواء أكان الهيكل تكعيبياً أم منحنيًا . ومن طرق معالجته إبرازه إلى الداخل أو الخارج مع استعمال حشوات غير إنشائية بين الهياكل (شكل ٥٦٧) . من هذه الحشوات بانوهات الزجاج الملون فى كنيسة سانت موريتياس (St. Mauritius) فى مدينة ساربروكن (Saarbrücken) بألمانيا . والتناقض بين البانوهات الرقيقة والهياكل الخرسانية القوية يساعد على تأكيد طبيعة كل منها (شكل ٥٦٨) .

وفى الهياكل الخرسانية متعددة الأدوار يتجه بعض المعمارين إلى التأكيد الرأسى للأعمدة* حيث إنها هى الحاملة الرئيسية للأوزان وبالتالي هى الأجدر بالإبراز والتأكيد . هذه المعالجة تؤكد طبيعة

* سبق أن اتخذت مدرسة شيكاغو فى أواخر القرن التاسع عشر نفس الاتجاه بإنشاء الحديدى كتعبير معمارى للمباني متعددة الأدوار كما يظهر ذلك فى أعمال ساليقان وهوليارد وروث ، (Hollibard & Roche) ويزنهام وروت (Burnham & Root) فى شيكاغو وسانت لويس وبافالو . وقد تبعها معماريو نيويورك فى القرن العشرين فى ناطحات السحاب كما فى مجموعة روكفلر .

الاستمرار المادى والهندسى فى الأعمدة الخرسانية الرأسية، الأمر الذى يمتاز به عن المباني الحجرية أو الخشبية أو المعبنية . هذا التأكيد الرأسى يمكن الوصول إليه بكشف الأعمدة على واجهة المبنى بارزة عن الحشوات والبلاطات والكمرات . ويزداد التأكيد الرأسى للواجهة بعمل أسلحة مستمرة لتثبيت الشبايك ذات بروز وعرض أقل من الأعمدة الحاملة مع التمييز بالألوان القائمة للأعمدة والواجهة للحشوات والأسلحة . مثل هذه المعالجة ترتقى بالتعبير المعمارى عن طريق تداخل إيقاعات رأسية ذات درجات مختلفة مع إيقاعات أفقية للشبايك وجلساتها (شكل ٥٦٩) .

وقد عالج ميزقان ديروه الهيكل الخرسانى متعدد الأدوار فى مشروعه لعمارة فى شيكاغو سنة ١٩٤٦ على أساس تأكيد خاصيته الرأسية المستمرة مع تأكيد حرية التشكيل الخرسانى . وقد عبر ميز بكل صراحة ووضوح عن تزايد أحمال الأعمدة كلما قربت من الأرض ، وذلك عن طريق زيادة قطاعاتها إلى الخارج كل خمسة أدوار تقريباً . وقد نفذ ميز هذه المعالجة فى عماراته السكنية لأساتذة معهد الينوى للتكنولوجيا بشيكاغو (شكل ٥٧٠) وفى عدة تصميمات لاحقة للهيكل الخرسانى .

والتأكيد للأفقيات فى الهياكل الخرسانية يتجه إليه بعض المصممين على اعتبار أن الأسقف الأفقية هى حاملات الأوزان المباشرة . هذا بخلاف الشعور الطبيعى بالاستقرار والاتزان والارتباط بالأرض الذى يصاحب الامتداد الأفقى البسيط . وقد اقترح ميزقان ديروه فى باكورة حياته عام ١٩٢٢ حللاً معمارياً لمبنى مكاتب بالخرسانة فيه تتناوب شرائط من الجلطات المصمتة والفتحات الزجاجية . وقد تأكد الاتجاه الأفقى ببروز الأجزاء الإنشائية فى الأسقف وامتداداتها الرأسية فى الجلطات ، عن الفتحات المزججة (شكل ٥٧١) . ومع تأكيد ميز للأفقية فى الواجهة إلا أن الوحدات الرأسية قد ظهرت بطريقة منتظمة خلف الفتحات الزجاجية ، كما انكشفت فى المدخل العام لمجمع المكاتب المصمم . وقد أصبحت الشرائط الأفقية من فتحات زجاجية وجلطات متناوبة طابعاً مميزاً للعمارة الحديثة التى امتدت من أوروبا إلى أمريكا الجنوبية لئرى مثلاً منها فى مبنى سيكوروس بوليفار (Securos Bolivar) فى بوجوتا بكولومبيا للمهندسين كويلار وسيرانوجوميز وشركاهم (Cuellar, Serrano Gomez & Cia) (شكل ٥٧٢) .

وفى تكوين آخر أكد لوكوربوزيه الأفقيات ببروز البلاطة الخرسانية مع تغليف المسافة بين البلاطة والأخرى بكاملها بالزجاج . ومن الاستعمالات المبكرة لهذا التكوين فى أعمال لوكوربوزيه (عام ١٩٣٢) الواجهة البحرية فى مبنى الطلبة السويسريين بجامعة باريس (شكل ٥٧٣) . وفى هذا المبنى كشف لوكوربوزيه الإنشاء بالأعمدة المستقلة فى الدور الأرضى (Pilotis) . وفى أمريكا الجنوبية نجد

أمثلة عديدة لهذا التكوين كما في عمارة بنك باولستا دي كوميرسيو (Paulista de Comercio) بسان باولو للمعماري رينوليبي (Rino Ievi) (شكل ٥٧٤) وعمارة بنك بوافيستا (Boavista) بريو دي جانيرو والمعماري أوسكار نيماير (شكل ٥٧٥). وفي استعمال أكثر واقعية وتوافقاً مع الجو، تأكدت البلاطات الأفقية البيضاء كشرائط بين حشوات شملت أعمدة وكرات قائمة اللون وجلسات من الطوب، وذلك في مبنى (E.M.S.A.) بيونس ايريس بالأرجنتين للمهندسين رافائيل ولويس جرازاني (Rafael & Luis Graziani) (شكل ٥٧٦).

واتجاه ثالث يؤكد تماسك واستمرار الوحدات الرأسية والأفقية في الإنشاء الهيكلي، وذلك عن طريق كشف الهيكل مع تأكيد متماثل للأعمدة والكرات في تشكيل شبكي متتابع رأسياً وأفقيًا*. والشبكة الناتجة تحيط بفراغات قد تترك خالية لتراسات أمامية كما في أغلب معالجات الفنادق الحديثة (شكل ٥٧٧) أو تملأ بحشوات من زجاج أو تشاييك (شكل ٥٧٨). وقد ابتداءً بيريه هذا التكوين في الخرسانة في عمارته بشارع فرانكلين (شكلي ٤٨، ٤٩) وفي الجراج بشارع بانثيو عام ١٩٠٦ (شكل ٥٠)، إلا أن ميله للكلاسيكية شجعه على تغليب الأعمدة الرأسية على الكمرات الأفقية ولو أن النتيجة العامة شبكية مغلفة بمحاط خارجي كامل من الزجاج.

وقد يتجه المصمم في اتجاه رابع نحو تأكيد الواجهة في الإنشاء الهيكلي كسطح غير حامل على اعتبار بروزها عن مستوى الأعمدة، رغم ما في ذلك من إهمال لدور البلاطة الأفقية الحاملة للواجهة. ويغطي الواجهة بكاملها في هذه الحالة تكوين معماري خفيف يؤكد هذا الدور، مثل هذا التكوين قد يكون من شبكة من الأسلحة الرقيقة. وقد قاد هذا الاتجاه المعماري لوكوربوزيه وطوره من شكل هندسي منتظم في مبنى وزارة التربية والتعليم بريودي جانيرو (شكل ٥٧٩)، إلى أشكال حرة غير منتظمة في مشروعه لعمارة سكنية بالجزائر (١٩٣٨، ١٩٤٢) وفي عماراته في مرسيليا وبرلين وفي مباني السكرتيرية وقصر العدالة في شانديجار (شكل ٥٣٣). ومن الأمثلة الناجحة في البرازيل مبنى (C. I. B.) بسان باولو للمعماري كورنجلد (L. Korngold) (شكل ٥٨٠). والاحتمالات الجمالية والانتفاعية لهذه المعالجة بمواد وتكوينات أخرى لا حدود لها. ومن المهم ملاحظة أن مسطحات الأسلحة تعتبر مسطحات خشنة غنية بالظل والنور ويجب معالجتها على هذا الأساس في دراسة تكوينات الملمس على الواجهات المختلفة للمبنى (شكل ٥٨١، ٥٨٢).

* ابتداءً سالفان هذا التكوين بالإنشاء الحديدي في مبنى كارسون پيري وسكوت (Carson, Perie & Scott.) بشيكاجو عام ١٨٩٣.

وقد يتجه التكوين المعبر عن طبيعة الغلاف الخارجى إلى تأكيده كغشاء رقيق مشدود (Stretched membrane). هذا الاتجاه قاده معماريو الطراز الدولى ، وقد فسروه بأن شعوراً بأهمية الفراغ الداخلى مع التأكيده التجريدى للكتلة ، سيتولد نتيجة لهذه المعالجة . ولم يكن مهماً فى هذه الحالة كون الغشاء من مادة شفافة كالزجاج أو من مادة مصمتة ما دام شكلها الهندسى الأساسى مؤكداً ومحفوظاً . ومن ثم فقد بذلوا كل مجهود لإلغاء البروزات من أى نوع ، وكونوا كتلا هندسية على درجة عالية من البساطة محتفظين بطابع الغشاء الخارجى المحايد . وقد اتجهوا تحت هذا الهدف إلى الحوائط الملساء من البياض والزجاج فى مستوى واحد مستمر ، وعندما اضطرتهم الاحتياجات الانتفاعية إلى استعمال الطوب كان ذلك بألوان فاتحة خفيفة وبعراميس من نفس لون الطوب . كما اتجهوا فى بعض الأمثلة إلى تغليف الزجاجى الكامل للواجهة كطريق للتبسيط والتعبير عن طبيعة الغشاء الخارجى غير الحامل . وهنا تبرز الواجهات الزجاجية خارج الأعمدة والبلاطات لتكون غلافًا زجاجيًا كاملاً أصبح من العلامات المميزة للعمارة الأمريكية والأوربية* ، ونقلتها عنهما عمارات أمريكا الجنوبية وبعض مدن وبلدان الشرق الأوسط كبيروت والكويت . مثل هذا التكوين فى البلدان الحارة الشديدة الإضاءة يسبب مضايقات بالإضافة إلى ما يسببه من زيادة فى التكاليف الأساسية والمستمرة لا تبرره أى دوافع جمالية . وقد قل استعمال مثل هذه الواجهات حتى فى البلاد التى لا تتعرض لأشعة الشمس القوية لما يصاحبها من صعوبات فى تنظيف الزجاج وفى تسرب الأمطار ، وزيادة فى الأحمال على أجهزة التهوية والتدفئة .

وقد سبق لنا الإشارة إلى المباني المتعددة الأدوار التى تحل فيها الأسطح محل الأعمدة الحاملة ، والتى تكون مع البلاطات الأفقية هياكل صندوقية ، وتكون الواجهة ذات خلايا منتظمة . وهنا يجب إبراز الدور غير الحامل للواجهة الخارجية ، وهذه يمكن تركها مكشوفة فى بلكنات أو تغليفها بالزجاج (شكل ٥٨٣) ، أو ملئها كلها أو جزءاً منها بالتشاييك الخرسانية أو بطوب الواجهات (شكل ٥٨٤، ٥٨٥) . وتحديد التشاييك أو الطوب فى كادر خرساني سيساعد على تأكيد صفاتها غير الحاملة . وقد اتجه تصميم العمارات السكنية فى شارع كنمور (Kenmore) بلندن (شكل ٥٨٦) اتجاهًا مغايرًا وذلك بكشف الإنشاء الهيكلى كل دورين . مثل هذه المعالجة قد تؤثر فى المقياس والتعبير السليم للمبنى . هذا فى حين أن الحوائط الخارجية الحاملة فى الإنشاء الهيكلى الصندوقي تعطى واجهات أقل انتظاماً وارتباطاً

* من أشهر الأمثلة فى هذا الاتجاه فى الإنشاء بالصنلبنى المكاتب لهيئة الأمم المتحدة ومبنى ليشر هاوس (Lever House) فى نيويورك .

بمعدل ثابت من ناحية توزيع وشكل الفتحات مع إمكانية أقل من ناحية مسطحاتها . وقد استغل ذلك مصممو عمارة هايبوينت السكنية في هايچيت بلندن للتعبير بمسطح الفتحات المتباينة عما تخدمه من استعمالات (شكل ٥٨٧) . وهنا يلزم توازن المسطحات المصمتة مع المسطحات المفرغة بحيث لا تتأثر قوة السطح الخارجى الحامل . وقد أكد سور الشرفات المقفل طبيعة التعبير المصمت للغلاف الخارجى الفعال .

والمباني المتعددة الأدوار ذات الأعمدة المشرومية تكسوها واجهات كابولية خالية من الأعمدة ، وهذا تصبح العناصر الإنشائية الثابتة الحاملة للواجهة هي الأسقف المتكررة الأفقية، وتوجه معالجة الواجهة إلى تأكيد أفقيتها: وقد يكون ذلك بالتغليف الزجاجى الكامل للمسافة بين جميع البلاطات الأفقية. ومن أمثلة هذه المعالجة مصنع شركة بوتس بيور دَرَج (Boots Pure Drug Co.) فى بيستون (Beeston) بإنجلترا (شكل ٥٨٨، ٥٨٩) . كما يمكن تناوب شرائط زجاجية مستمرة مع شرائط صماء مكونة للأسقف وجلسات الشبايك. وقد عولجت واجهة مصانع فان نل (Van Nelle) بروتردام بهولندا على هذا النمط مع عمل الجلسات والفتحات الزجاجية على نفس المستوى (شكل ٥٨٩) . وفى الحالتين تظهر الرؤوس المشرومية للأعمدة خلال الزجاج بطريقة منتظمة معبرة عن طبيعة الإنشاء وعن التوزيع الطبيعى للأحمال، كما تظهر البلاطات المستوية بدون كمرات فى أشكال هندسية بسيطة . ويمكن تأكيد الوحدات الإنشائية وفصلها عن الوحدات الانتفاعية بإبراز الجلسات المستمرة مع البلاطات عن الفتحات الزجاجية .

التكوينات ذات الأسطح الفعالة :
الغلاف الخارجى لهذه المنشآت يكون فى نفس الوقت العنصر الإنشائى الفعال ، ووسائل التعبير هنا مباشرة وبسيطة . وعلى المعمارى أن يستغل هذه الأشكال بكشفها من الداخل والخارج كاملة حتى وصول أحمالها إلى الأرض مباشرة أو عن طريق أعمدة مائلة أو رأسية . وهنا تجدر الإشارة إلى مراعاة علاقة هذه الوحدات بالوحدات الأخرى المجاورة بحيث تؤكد إحداها الأخرى فى تكوين موحد متكامل ، وبحيث لا تعطل الوحدات المجاورة الرسالة التعبيرية للشكل الانسيابى الفعال . بل على العكس تخدمه بصرياً وقياسياً وتعبيرياً عن طريق التوافق أو التناقض .

وبجانب ذلك يجب أن توجه مجهودات المصمم نحو إظهار طبيعة الغلاف القشرى بالحرسانة من ناحية تأكيد وإظهار سمكه الحقيقى . وفى الأسقف القشرية تشكل الأعصاب المقوية مشكلة معمارية وخاصة إذا ما وضعت على محيط الصدف القشرية حيث تعطى تعبيراً خاطئاً عن سمكها . والمعماريون المهتمون بالتعبير السليم يميلون إلى إبراز البلاطة القشرية عن الأعصاب المقوية ، وبذلك يظهر السمك

الحقيقي للبلاطة إلى الخارج . وقد اهتم مايار بهذه المعالجة في تصميمه للصدفة المغطاة لصالة الأسمنت في معرض زيورخ (شكل ١٨٩) . والتأثير العام لمثل هذه المعالجة يعبر أصدق تعبير عن طبيعة السقف القشري بسمكه البالغ ستة سنتيمترات والمكشوف على الخارج مباشرة . مثل هذا التأثير الناجح نجده في مطعم ماي وبيكر (May & Baker) بمدينة داجنهام (Dagenham) بإنجلترا (شكل ٣٩٤) ، حيث برزت البلاطات بسمكها الرقيق عن الكمرات المقوية بمستوى الحائط الزجاجي الخارجي . والمعماري في أغلب الحالات يميل إلى حذف هذه الكمرات الطرفية حيث إنها في أغلب أحوالها المعدولة أو المقلوقة ، المرتدة أو الطرفية ، مؤثرة في الطابع العام للصدفة . وقد أمكن في أغلب الحالات ، وبخاصة في الصدقات المزدوجة الانحناء ، حذف هذه الأعصاب واستبدالها بجزء من البلاطة ذي اتجاه مغاير لميل الصدفة العام بحيث يعمل كمعصب لها مع احتفاظه بسمك ظاهر يساوي سمك الصدفة ذاتها (شكل ١٩٠) .

ومن الداخل غالباً ما تكون الأسقف القشرية المفردة أو المزدوجة الانحناء غير معبرة عن طبيعتها كصدقات قشرية . فهي ثقيلة ومقبضة داخلياً في مطعم لوس ماننتيالس (Los-Manantiales) بمدينة (Xochimilco) بمكسيكو (شكل ٥٩١) ، مع أن التأثير الخارجي معبر عن طبيعة الإنشاء الخفيف . وفي هذه الحالة يلزم وجود معالجات معمارية للوصول لنفس الشعور في الدواخل حتى يتم النجاح المعماري . ومن الوسائل الناجحة في ذلك تفتيح الصدقات بفتحات انتفاعية في نفس مستواها للإضاءة والتهوية الطبيعية . هذه الفتحات لكونها في قلب الصدفة يحسن أن تكون محدودة المساحة وذات محيط دائري مستمر . فالفتحات المربعة الصغيرة حذفت شعور الثقل بوحدات القطاع الزائدي المكافئ بسقف الخزن المكسيكي الذي صممه المهندس كاندلا (شكل ٥٩٢) . وللتعبير عن الطبيعة الغشائية للصدفة القشرية قد يلجأ المصمم إلى وضع الزجاج مستوياً مع السطح الداخلي للصدفة . ومن الأمثلة على هذا الاستعمال صالة « ك ب . » السابق ذكرها بكونينهاجن (شكل ٥٢٢) ، وكذلك الفتحات المزججة المنحنية من وحدات أسقف مطار سانت لويس بأمريكا (شكل ٥٢٤) ، والفتحات المركزية المستطيلة في السقف الدائري لصالة سوق رويان بفرنسا (شكل ٥٩٣) . وفي هذه الأمثلة أضفى وضع الزجاج مستوياً مع السطح الداخلي للسقف القشري خفة ورشاقة للإنشاء وتأكيداً لشكله الداخلي الهندسي المنتظم . وقد يتجه المصمم لإظهار السمك الحقيقي للصدفة عن طريق وضع الزجاج على السطح الخارجي للبلاطة كما في جراجات ستوك ول للاتوبيس بلندن (شكل ٥٩٤) .

والشعور الداخلي بالثقل يصاحب الأسقف القشرية المضلعة والموجة والمسنمة ، وقد توصل نيرفي

إلى تعبير رشيق قوى لأسقفه المموجة عن طريق الفتحات على جانبي الموجة الخرسانية كما في قصر الرياضة بروما (شكل ٥٢٧) وصالة المعرض بتورينو (شكل ١٠٦) . والمشكلة ذاتها تواجه المصمم بالأسقف المسنمة إذا أنها تظهر من الداخل ثقيلة مقبضة على غير طبيعة تكوينها (شكل ١٦٣) . والفتحات المائلة في أسطحها الجانبية هي الحل الإنشائي والتعبيري اللازم لمثل هذه الأسقف .

الأسقف القشرية ذات الباكيات المختلفة الارتفاع أو المسننة تهبط فرصاً ذاتية لإظهار قطاعات الأسقف الرقيقة مما ينتج عنه رشاقة الإحساس الداخلي . وقد استعمل المعمارى ماكس بورجس مجموعات من الأسقف القشرية الرقيقة المختلفة الارتفاعات في تصميمه لنادى تروبيكانا بهافانا بكوبا (شكل ٥٩٥) . هذا وقد تأكدت عن طريق هذا التكوين رقة الصدف الخرسانية داخلياً وخارجياً بالأسطح الرأسية المزججة بين الصدفات . وقد اتبع المهندس نفس المعالجة في نادى نوتيكو بهافانا (شكل ٥٣٠) . كما أكد كاندلا طبيعة الوحدة المشرومية المكون كل منها من أربعة قطاعات زائدية مكافئة عن طريق إمالتها واستغلال الفرق بين الطرفين لعمل فتحات طولية مستمرة لإضاءة مصنع لامكس بمدينة بوينتي دى فيجاس بمكسيكو (شكل ٣٧٧) . وقد تأكدت بهذه المعالجة رشاقة وصراحة الأسقف ، الأمر الذى لن يتوافر بالتصاقها الواحدة تلو الأخرى .

ولاستكمال التعبير الإنشائي للأسقف القشري يلزم مراعاة معالجة المسطحات المحيطة به والمغلقة للفراغ داخله بحيث يتم تأكيد طبيعتها كوحدة غير حاملة ، وبذلك يتم تكامل الرسالة الإنشائية العامة للغلاف الخارجى . وفي حالات الإنشاءات المكشوفة كمظلات الأسواق والمعارض وأمكنة الانتظار لا توجد مثل هذه العلاقات بوجود المنشأ خالياً مستقلاً من جميع الجهات . وإذا وجدت بعض القواطع الانتفاعية فمن الواجب ألا تصل إلى السقف الإنشائي حتى لا تفسد تعبيره المعماري ، وحتى لا تتداخل مع بقائه كعنصر مستقل في الفضاء .

وفي أغلب الأحوال تتطلب الاحتياجات الانتفاعية فراغاً مقفلاً مع توفير مسطحات زجاجية للإضاءة والتهوية والرؤية وأبواب للدخول والخروج من وإلى الفراغ الداخلي . وكميات المسطحات الشفافة اللازمة لتوفير هذه الاحتياجات تتوقف على وظيفة الفراغ وطبيعة الموقع . وفي الحالات الانتفاعية التي تتطلب أو تسمح بتغليف المسطحات غير الحاملة بأكها بالزجاج يصبح التأثير العام لما هو حامل وغير حامل مؤكداً وصريحاً عن طريق التناقض الصريح بين الصدف الخرسانية القشرية وبين الحوائط الزجاجية الشفافة . هنا يصل التعبير الإنشائي لذروته . وهناك أمثلة عديدة اتبعت هذا الحل النقي ومنها سوق تريبول

(Tradwell) بمدينة بورين (Boren) بولاية واشنطن بأمريكا (شكل ٥٩٦) ، وصالة الاستقبال بمطار سانت لويس (شكل ٥٢٤) ، وكنيسة سان جوزيه أو بريرو بمدينة مونتري بمكسيكو (شكل ٣٦٥) . ومن المهم هنا الملاحظة الدقيقة للنسب الحساسة للأعمدة الحديدية (Mullions) المثبتة للحائط الزجاجي لتلافي احتمالات ظهورها كأعمدة حاملة للسقف ، الأمر الذي قد يشوه التأثير للعام ويتداخل مع التعبير الصحيح لطريقة التجميل الواقعية . وقد كان من الممكن حدوث هذا التداخل في كنيسة لايورزما (La Purisma) في مونتري في مكسيكو إذا لم يعالج المعمارى العمود الرأسى المتوسط بصالة المدخل بطريقة رمزية كضلع رأسى للصليب (شكل ٥٩٧) . هذا بالإضافة إلى أن بروز الصدفة إلى الأمام فوق الحائط الزجاجى يساعد على تلافي أى تعبير إنشائى زائف .

وقد تعالج الحوائط الزجاجية داخل تشابيك زخرفية وفي هذا تعبير زخرفى قوى عن طبيعة الحائط غير الحامل خلف أو بين الأعمدة الحاملة . وقد سبقت الإشارة إلى الاستعمال الناجح للتشابيك المزججة في كنائس بيريه الشهيرة ، وغير المزججة في أعمال أدوارد ستون في أمريكا وباريس والهند . وفي أغلب الاستعمالات تتطلب الاحتياجات المعمارية للفراغ وظروف الجو المحيط تغليف الفراغ بحوائط صماء بها فتحات . وهنا يحسن المعالجة التجريدية للفتحات بوضعها تحت الأسقف القشرية مباشرة لعزلها عن الحوائط ولتأكيد الحقيقة الإنشائية وهى استقلال الأسقف عن الحوائط المغلفة . ولزيادة تأكيد ذلك يلجأ المعمارى إلى إبراز الأسقف عن مستوى الفتحات الزجاجية . والأمثلة لهذا الاستعمال عديدة منها المعالجة الناجحة للأقبية ذات الانحناء الواحد بمصانع انفيلد بمقاطعة برنماور بويلز الجنوبية بإنجلترا (شكل ٥٩٨) ، ولقباب المزدوجة الانحناء بسوق ستيوارت بمدينة نيوكانن بولاية كنتكت بأمريكا (شكل ٥٩٩) . كما فصل بيريه بالتشابيك الخرسانية العقود الخرسانية عن الحائط المغلف غير الحامل وذلك لتأكيد الطبيعة الإنشائية لكل بمخازن الميناء بمدينة الدار البيضاء بمراكش .

هناك حالات لا يمكن معها المعالجة السابقة تحت ظروف ارتفاعية تستوجب إلغاء الفتحات الزجاجية كلية من حائط معين أو من الفراغ جميعه . فى مثل هذه الحالات يجب مراعاة إبعاد خاصية الحمل عن الحوائط تحت الأسقف القشرية ، وهذا يتأتى بفصل الأعمدة أو الركائز الحاملة للأسقف عن الحوائط كلية ثم معالجة الأخيرة معاملة معمارية تؤكد صفتها كحائط خفيف مغلف للفراغ . وهنا يحسن إبراز السقف بروزاً مناسباً عن منسوب الحائط مع مراعاة البساطة ما أمكن فى الشكل العام للحائط بدون بروزات أو دخلات مع إعطائها مسطحاً ناعماً مصقولاً بألوان خفيفة عن طريق التكسيات الموزايكو

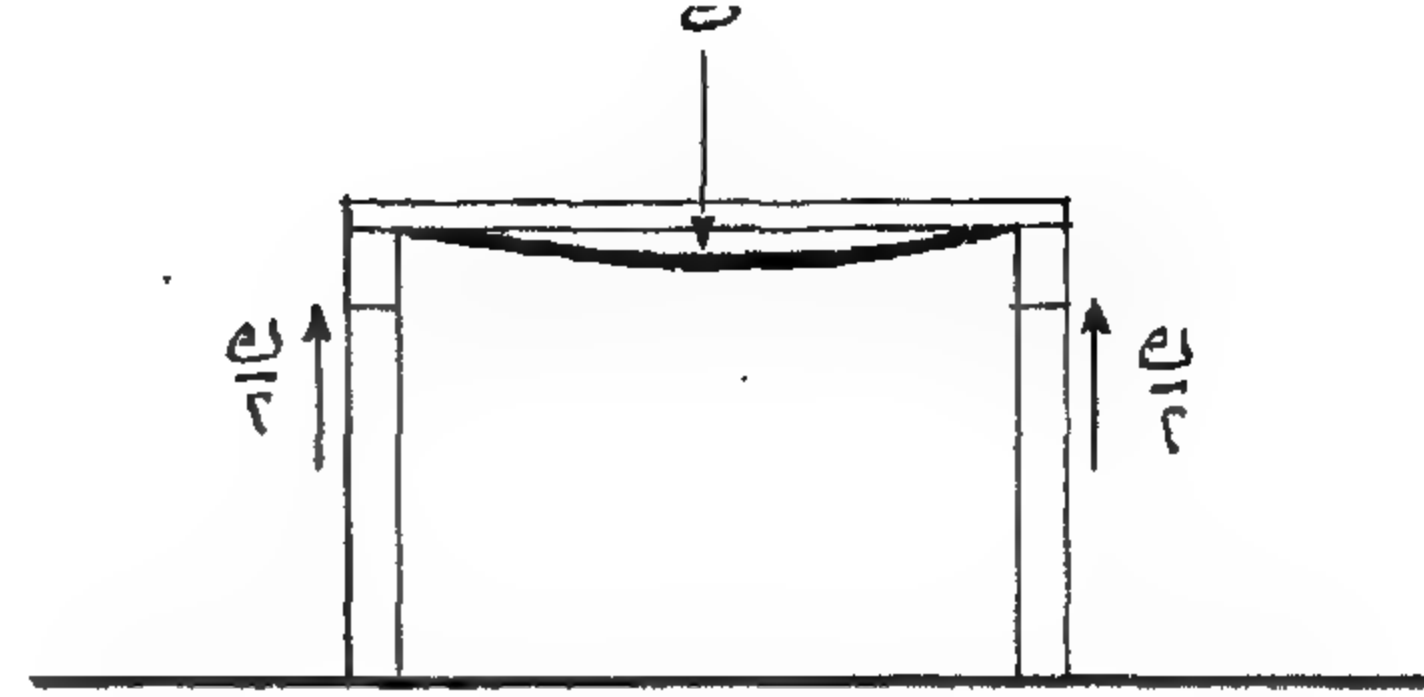
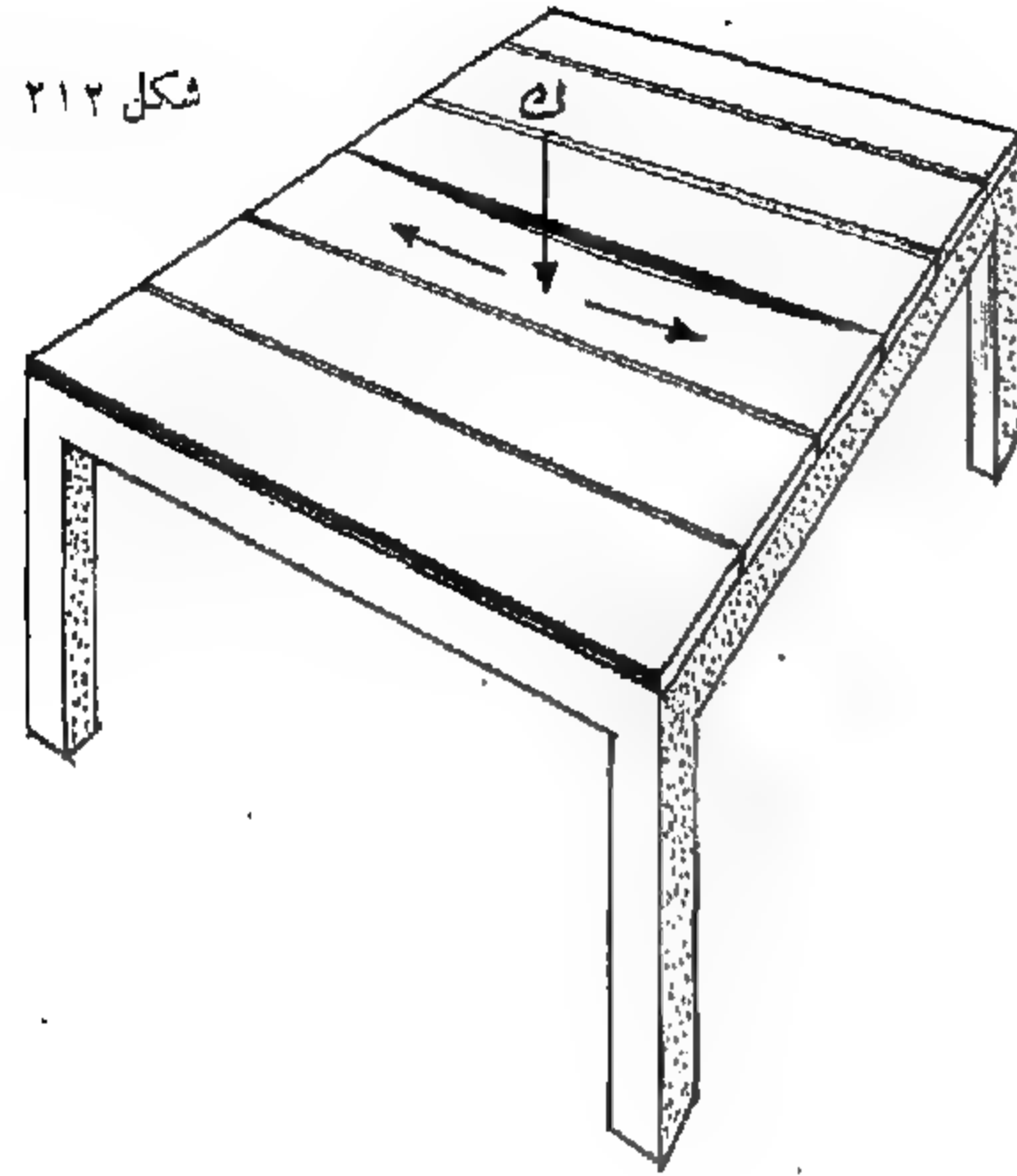
لمزججة مثلاً . هذه الطريقة منتشرة في البرازيل عن طريق البلاطات المنقوشة (أزيوليكوس) لتكسية المسطحات غير الحاملة وهذه تكسيها التعبير الخفيف الهش . ومن استعمالاتها الناجحة لوحة كانديدو بورتيناري (Candido Portinari) التجريدية على الحائط الخارجى لمبنى الجمنازيوم بالمدرسة الابتدائية بشارع كاييتاوفيلكس (Capitao Felix) بحى بلريجولهو (Pedregulho) بريودي جانير و (شكل ٦٠٠) وقد ساعدت اللوحة على تأكيد التعبير العام للمنشأ . وقد استعمل المهندس نيماير نفس التكسية بطريقة مزدحمة على الواجهة الشرقية لكنيسة القديس فرانسيس (St. Francis) بمدينة بامبولها (Pampulha) بمقاطعة ميناس جيريس (Minas Gerais) بالبرازيل (شكل ٦٠١، ٦٠٢) . وهنا على عكس الاستعمال السابق ، أضعفت اللوحة من التأثير العام للمنشأ . والواجهة الغربية لهذه الكنيسة أكثر هدوء ووقاراً بأسلحتها الراسية المائلة . وهناك حلول معمارية أخرى لمعالجة الحوائط المصمتة غير الحاملة للتعبير عن طبيعتها ، منها التكسية بالبياض الناعم أو الرخام أو الحجارة الناعمة ذات العراميس الخفيفة المنتظمة في خطوط أفقية ورأسية مستمرة تؤكد طابع الحائط غير الحامل . ومن الممكن التكسية ببلاوكات خرسانية مزخرفة خفيفة كتعبير في نفس الاتجاه .

وفى الغالب تحتاج الحوائط غير الحاملة تحت الصدقات القشرية لقوائم لتثبيتها . مثل هذه الأعمدة قد تبلغ قلداً من الضخامة يتداخل مع التعبير السليم للصدقات القشرية وطريقة تحميلها ، وخاصة إذا برزت هذه الأعمدة عن سطح الحائط الداخلى أو الخارجى . وفى هذه الحالة يحسن ألا تصل هذه الأعمدة إلى السقف الخرسانى ، بل الأفضل أن تبرز الأعمدة كابولية من الأساس القوى . وفى حالة ضرورة تثبيت نهايتها فى السقف يفضل عدم تأكيد هذه الأعمدة عن طريق زيادة عددها وتنفيذها مستوية مع الحائط وتكسيه الجميع بطبقة من البياض الفاتح اللون أو أى من التكسيات السابقة . ولكى ندرك أهمية ذلك على التأثير الجمالى النهائى علينا أن نفحص حظيرة الطائرات لشركة لوفتهانزا بمدينة فرانكفورت (١٩٥٩ - ١٩٦١) (شكل ٦٠٣) . فبالرغم من أن السقفين الكابولين عولجا معالجة إنشائية ناجحة تقارب مثيلتها لشركة الخطوط الجوية العالمية (T.W.A.) فى نيويورك (١٩٥٧) ، إلا أن تأثيرها النهائى فقد جزءاً كبيراً من قوته الخارجية بعد إنهاء الحوائط على الواجهة الأمامية ببلاطات خرسانية خشنة وصلت إلى السقف القشرى الذى غطى من الخارج بكورنيس لا يعبر من ناحية السمك والشكل عن طبيعة السقف الخلقى . وبدلاً من أن تفصل الفتحات على هذه الواجهة بين الحائط الجانبي والسقف ، وضعت فى أسفل الحائط مما أضعف التأثير العام للسقف الأمر الذى لم يحدث فى الواجهة

الخلفية المكسوة بأكملها بالزجاج . مثل هذا النقد ينطبق على حظيرة طائرات الخطوط الجوية العالمية في نيويورك (شكل ٦٠٤) . فبالإضافة إلى ما يمكن أن يقال عن جناح المكاتب الأمامى الذى لا يرتبط بتاتاً بما خلفه ، نجد أن واجهة الحظيرة ذاتها قد أنهاها كورنيش ليس له علاقة من ناحية الشكل بطابع السقف السمنى الكابولى خلفه ، مما أضعف لحد كبير التأثير النهائى للمبنى . هذا فى حين نجح مكتب روبرتزو شيفر فى إبراز الخواص الإنشائية لحظيرتهم ذات الجناحين الكابوليين سابقى الإجهاد وذلك بتأكيد المنشأ على الواجهة مع التعبير السليم عن الحوائط المغلفة . (شكل ٦٠٥) .

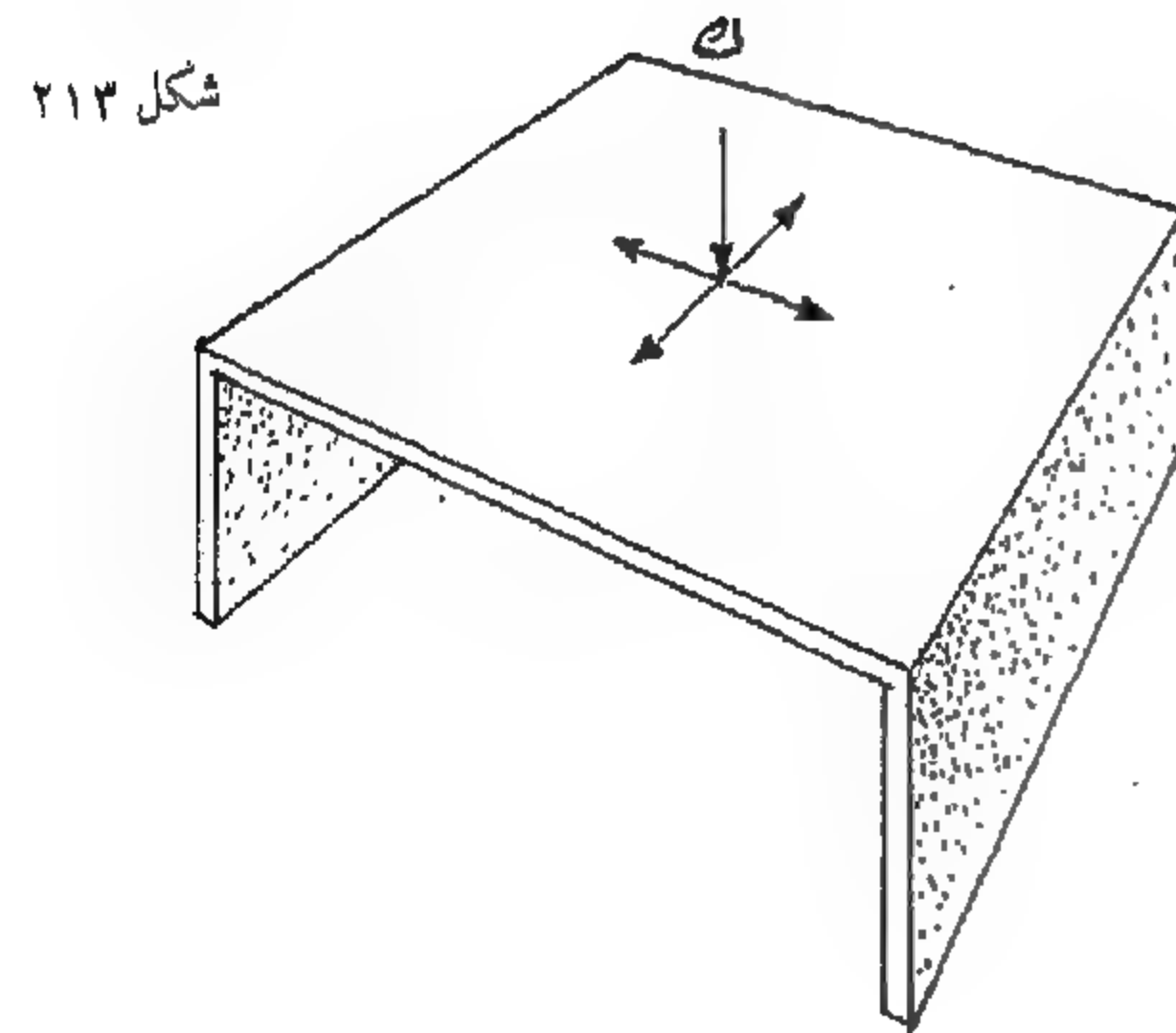
الاتجاهات السابقة فى معالجات الأسطح والأشكال والتعبير الحرساني ليست شاملة أو مقيدة للتصميم المعماري بالحرسانة المسلحة وهى كاتجاهات عامة صائبة ، وقد دلت التجارب على نجاحها جمالياً . غير أنه سيوجد دائماً المعماري ذو الخيال الواسع الذى سيذهب بالحرسانة إلى أسطح وأشكال أبعد مما ذكر . كما ستظهر مبادئ فى الوقت والفراغ تبرر طرقاً جديدة للتعبير . وبلاستيكية الحرسانة المسلحة تشجع دائماً على أفكار جديدة مبنية على أسس انتفاعية إنشائية جمالية سليمة . ومن ثم فإن عمارتها الناجحة ستبقى دائماً حية مجددة .

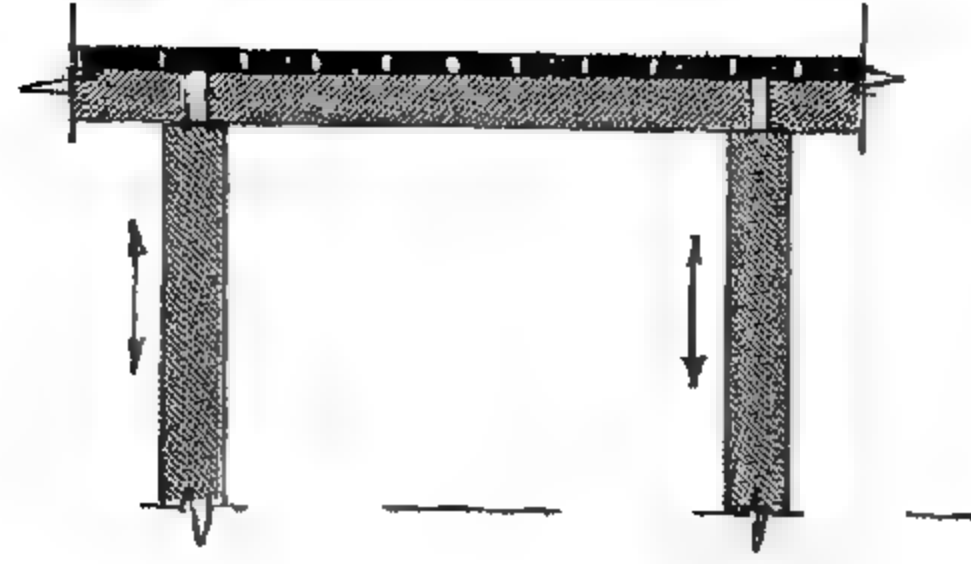
رسومات وصور
الجزء الثاني



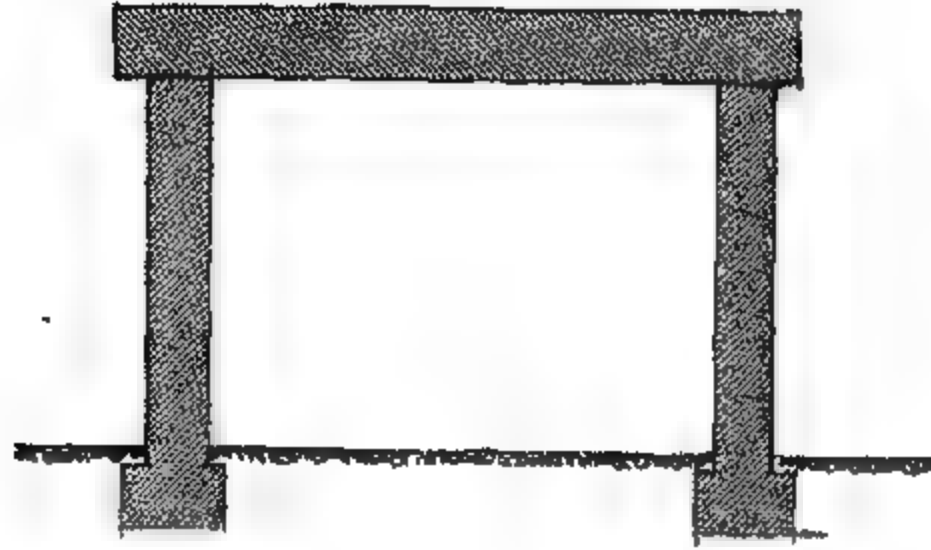
الطرق الإنشائية :

(شكل ٢١٢) الوحدات الخطية ذات الاتجاه الواحد.
(شكل ٢١٣) الوحدات ذات الأسطح الإنشائية الفعالة.

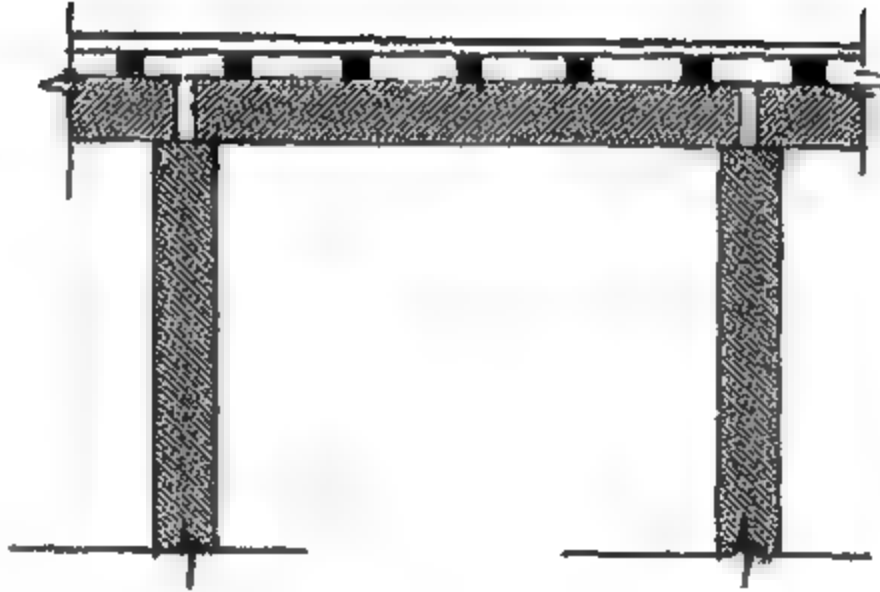




شكل ٢١٥



شكل ٢١٤



شكل ٢١٦



الأصمالي

البلاطات

الكمرات الثانوية

الكمرات الرئيسية

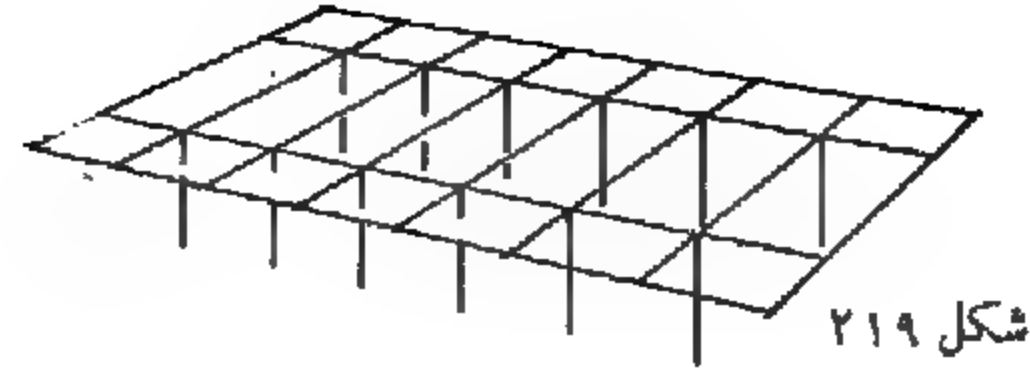
الأعمدة



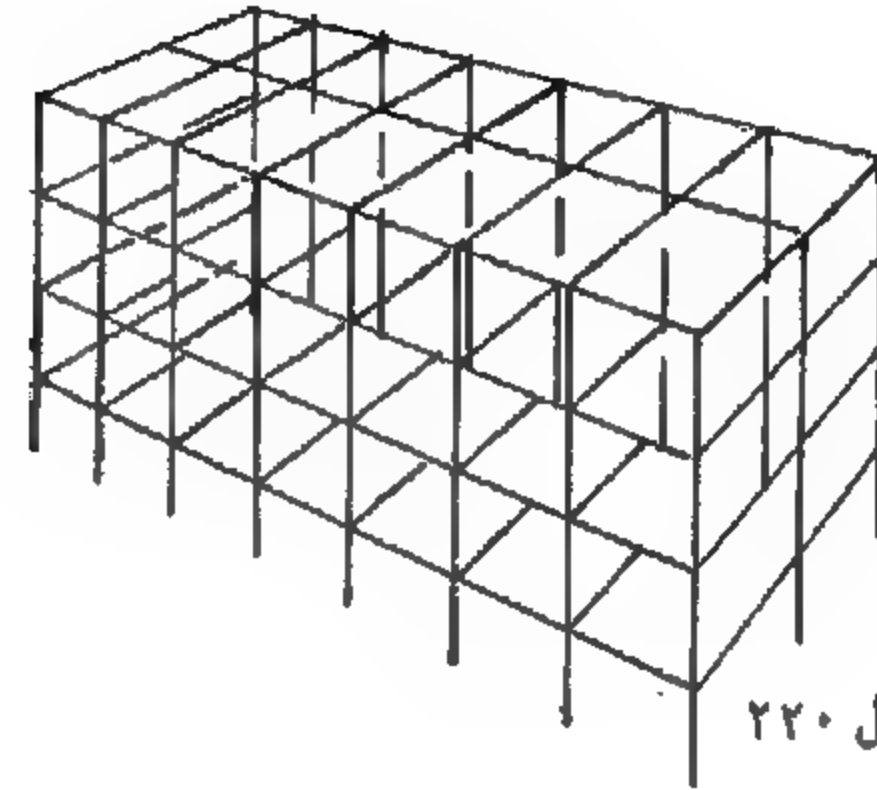
شكل ٢١٧

وحدات خطية - الإنشاء بالعمود والعتب

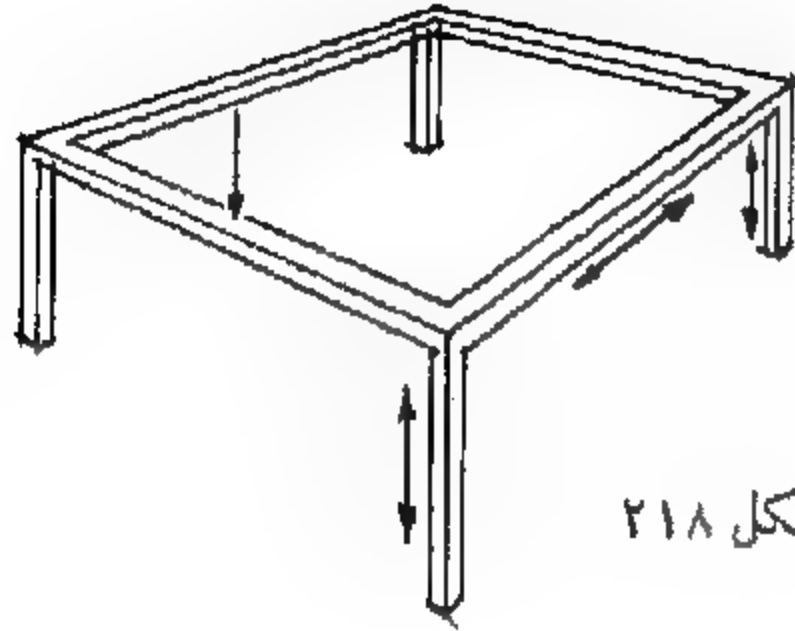
(أشكال من ٢١٤ إلى ٢١٦) الإنشاء بالأعمدة والكمرات الرئيسية والثانوية والبلاطات .
(شكل ٢١٧) مقارنة تشبيهية بين الإنشاء بالعمود والعتب والإنشاء المتناسك المستمر ماديا .



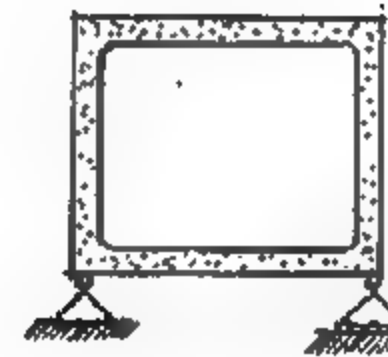
شكل ٢١٩



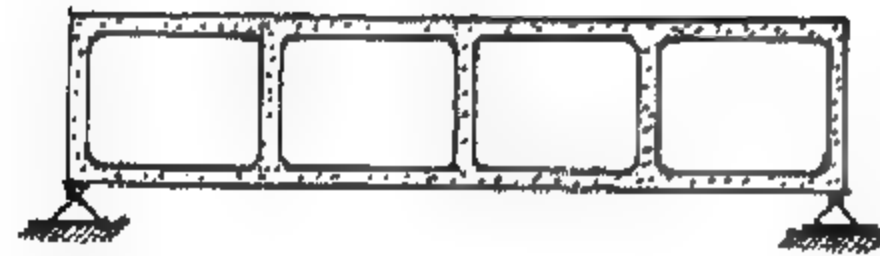
شكل ٢٢٠



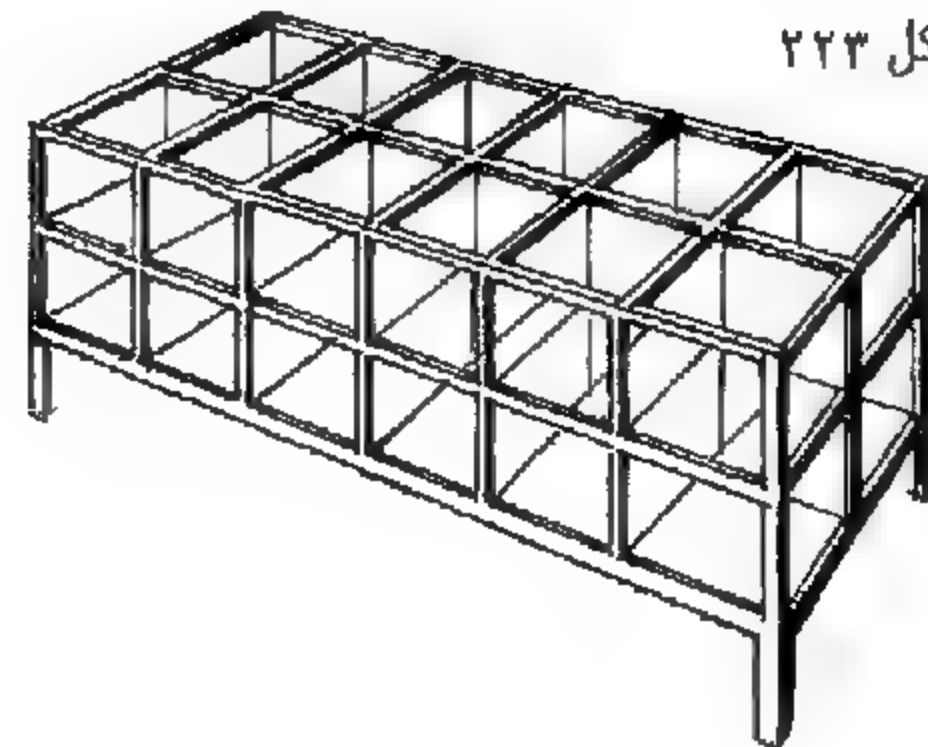
شكل ٢١٨



شكل ٢٢١



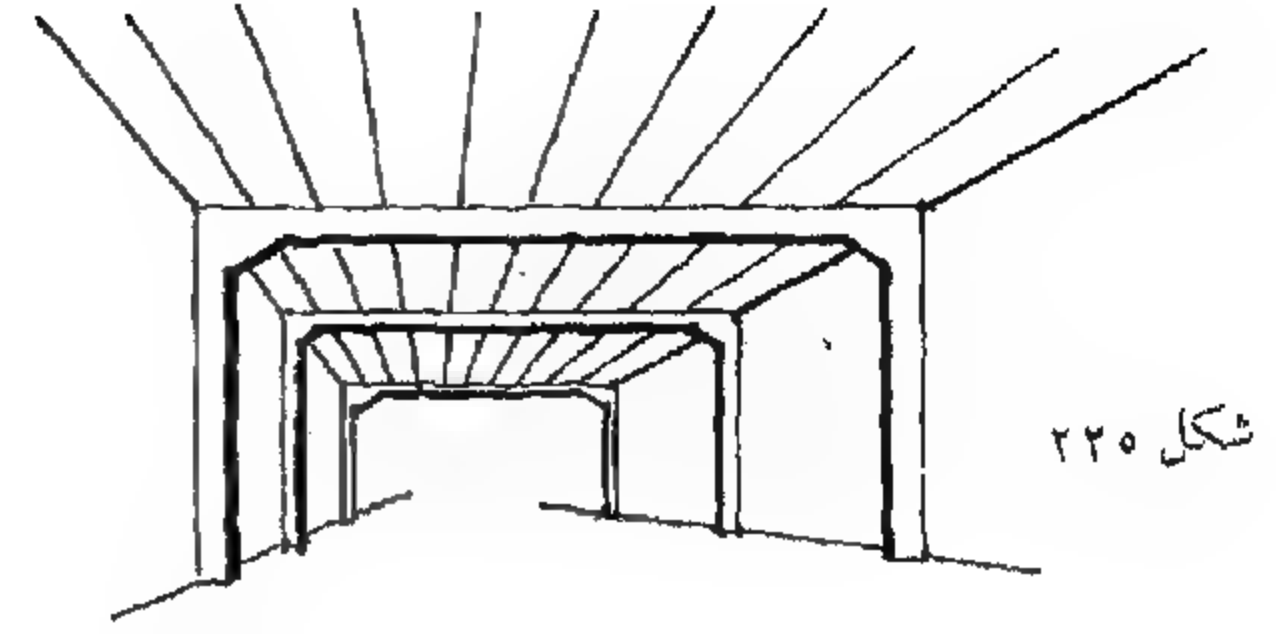
شكل ٢٢٢



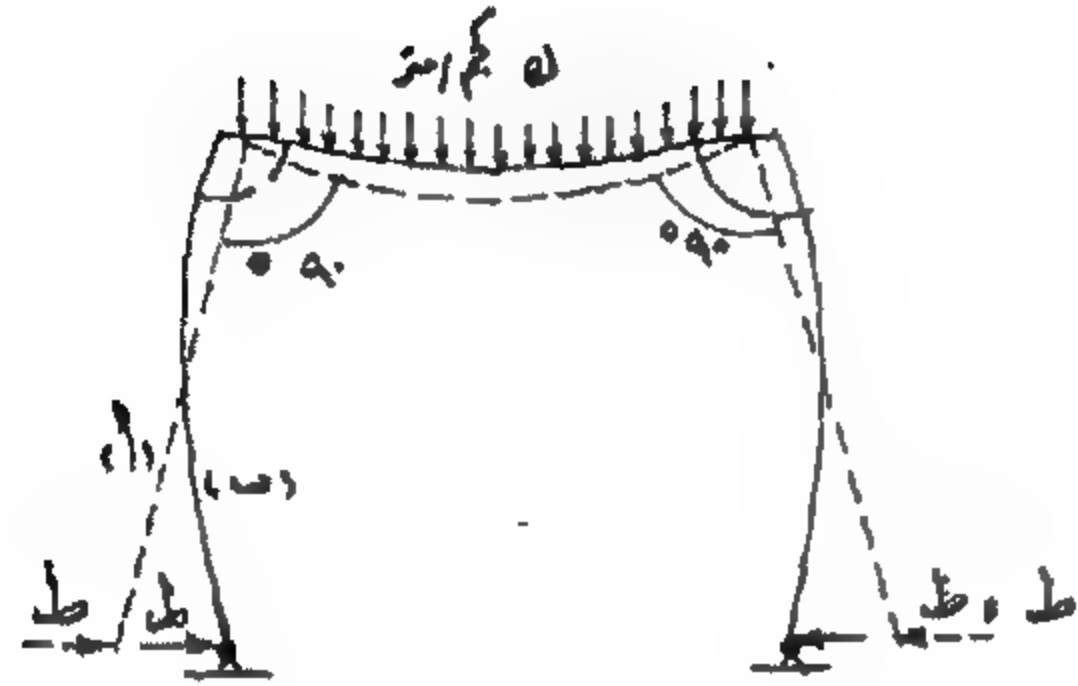
شكل ٢٢٣

الإنشاء الخيطي الهيكلي :

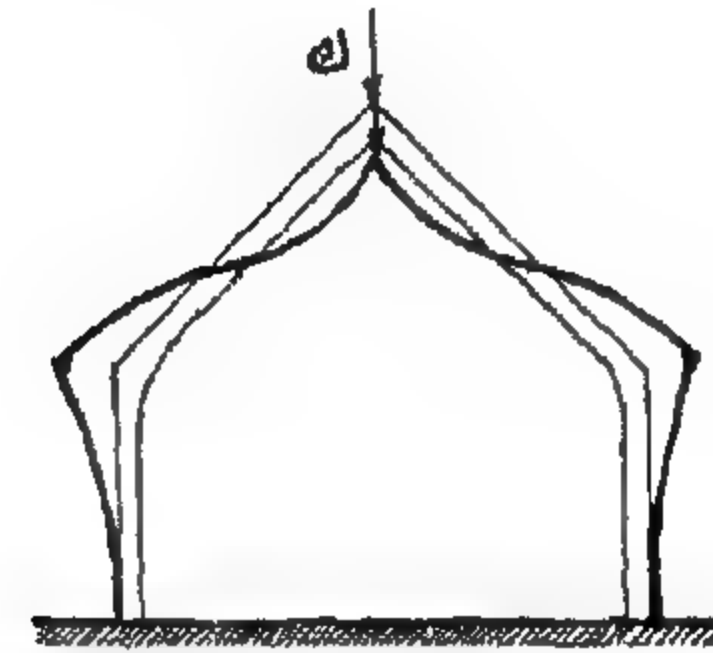
- (شكل ٢١٨) الوحدة التكميلية .
- (شكل ٢١٩) هيكل من دور واحد ذات كوابيل .
- (شكل ٢٢٠) هيكل متعددة الأدوار .
- (شكل ٢٢١) هيكل مفرد مقفل .
- (شكل ٢٢٢) هيكل مقفل جمالون فيرنديل .
- (شكل ٢٢٣) جمالون فيرنديل من عدة أدوار .



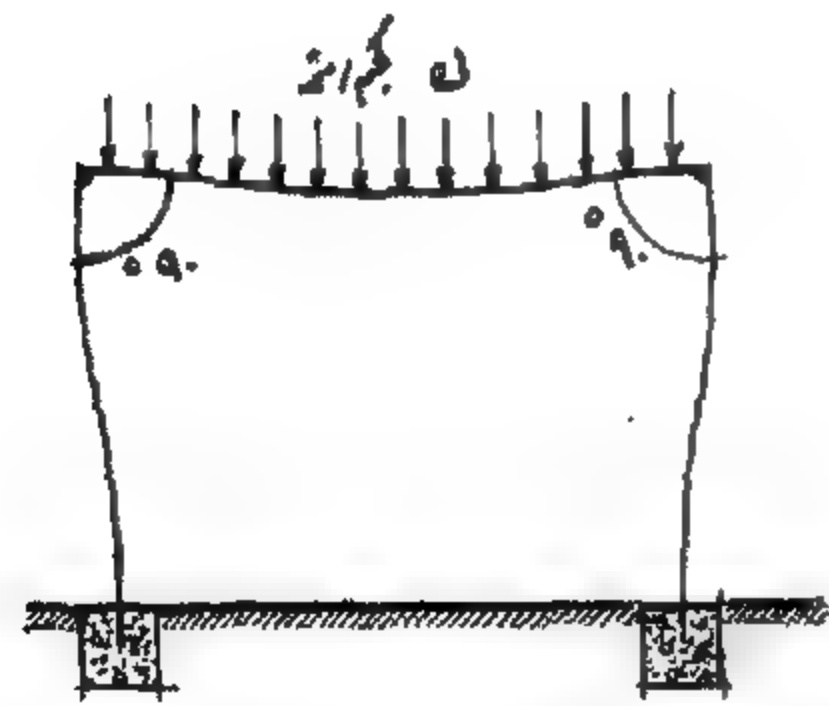
شكل ٢٢٥



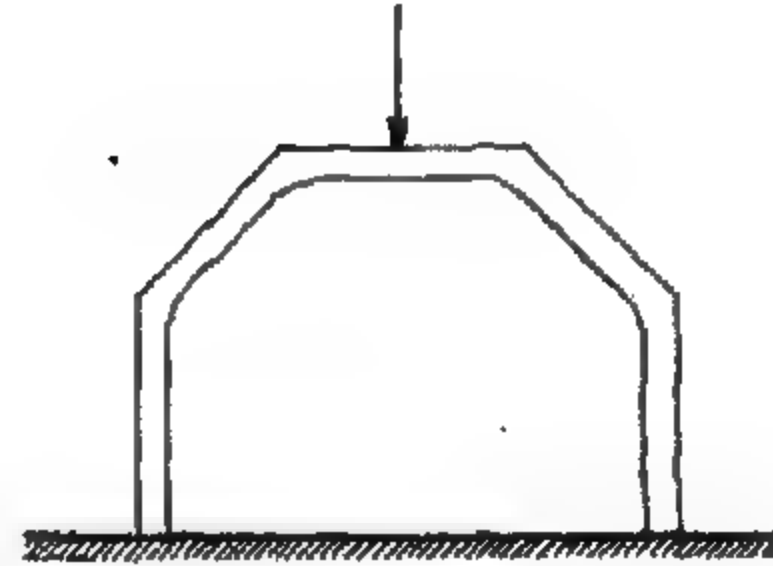
شكل ٢٢٤



شكل ٢٢٦

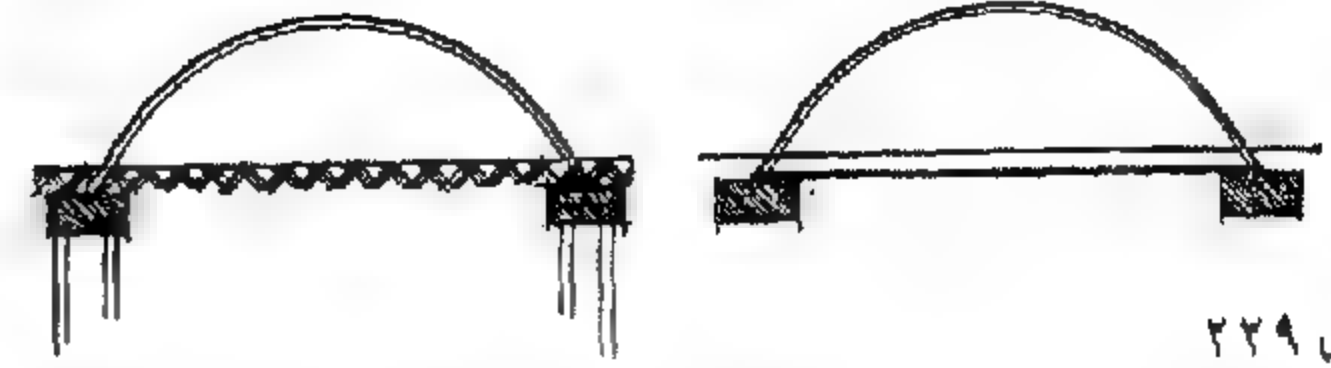


شكل ٢٢٧

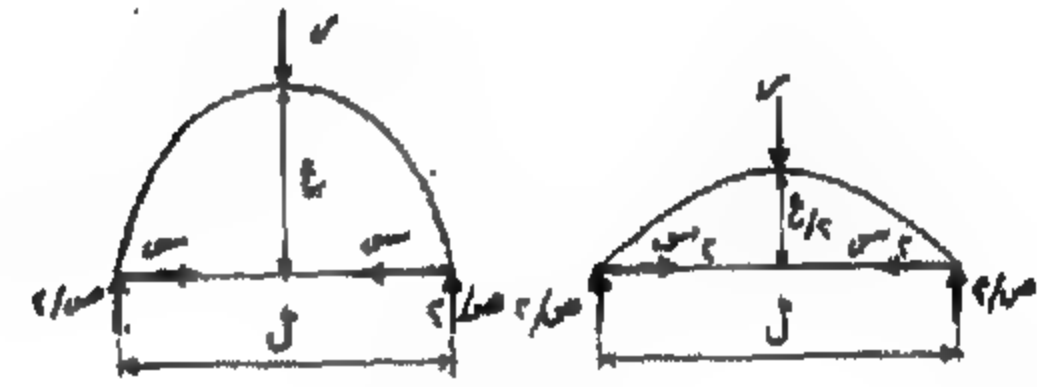


الإنشاء الهيكلي للبحور الواسعة

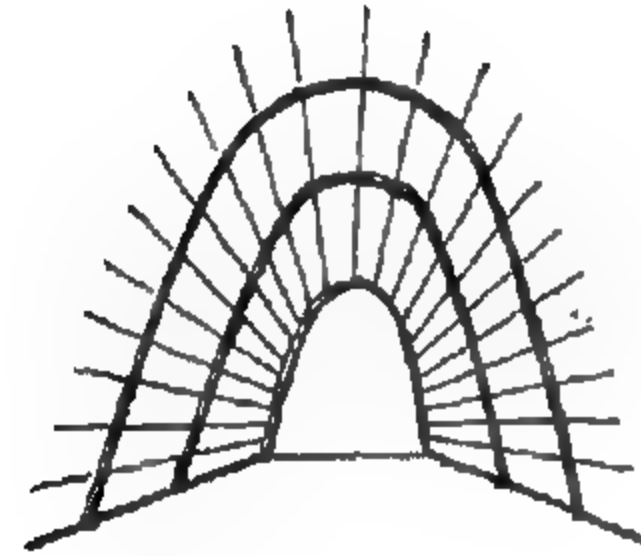
- (شكل ٢٢٤) هيكل مستمر ماديا تحت حمل موزع على الجزء الأفقي .
- (شكل ٢٢٥) هيكل متكرر على باكيات بسقف أفقي .
- (شكل ٢٢٦) هيكل مستمر تحت حمل رأسي يتولد فيه إجهادات انضغاط وانحناء .
- (شكل ٢٢٧) ازدياد في إجهادات الانضغاط وصغر إجهادات الانحناء مع ازدياد أضلاع الهيكل .



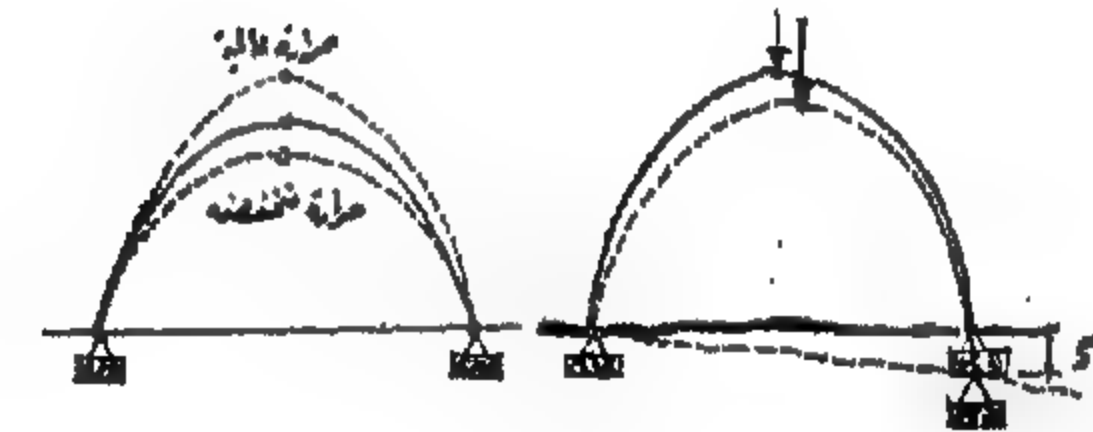
شكل ٢٢٩



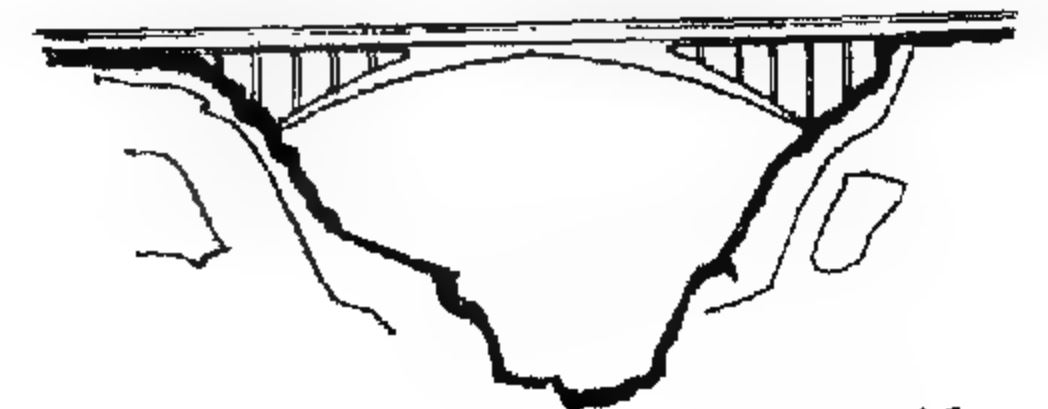
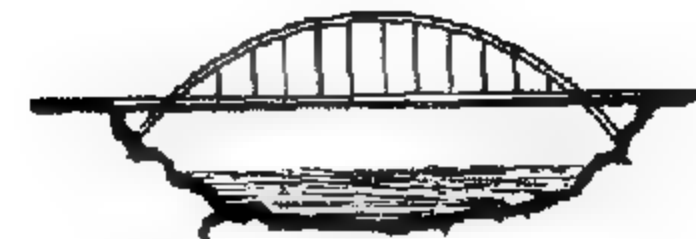
شكل ٢٣٠



شكل ٢٢٨



شكل ٢٣١



شكل ٢٣٢

الإنشاء الهيكلي بالعقود المنحنية

(شكل ٢٢٨) العقود المنحنية على شكل مضلع القوى للأحمال المباشرة.

(شكل ٢٢٩) طرق مقاومة قوى الطرد في أنواع مختلفة من التربة.

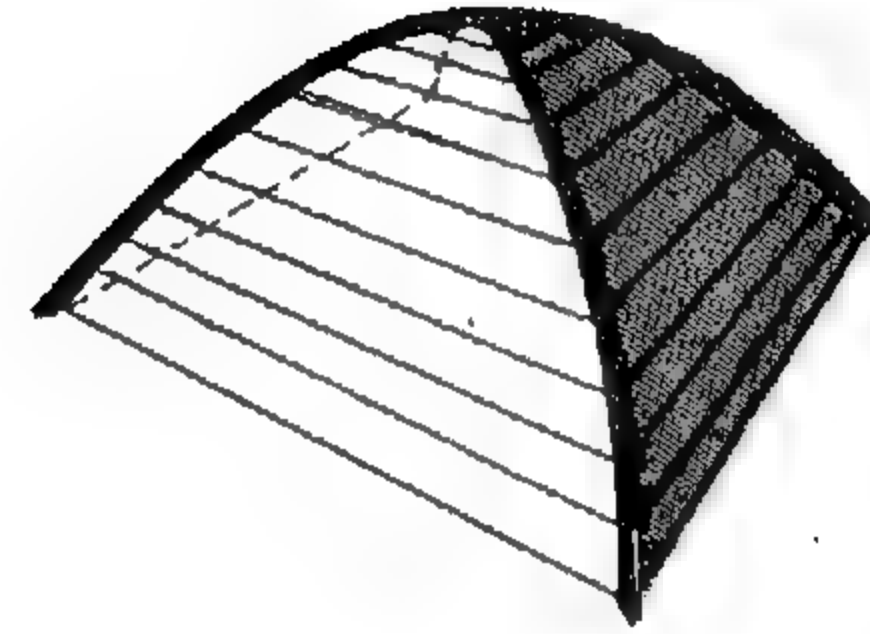
(شكل ٢٣٠) علاقة قوى الطرد بارتفاع العقد.

(شكل ٢٣١) حرية حركة العقود ثلاثية المفصلات نتيجة لاختلاف درجات الحرارة وتباين هبوط التربة.

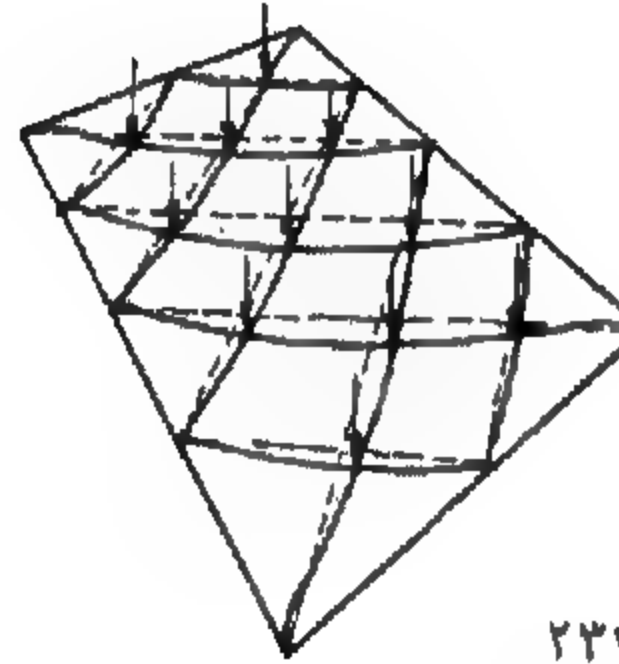
(شكل ٢٣٢) العقد الخطي في كوبري الطريق يحمل على العقد بوحدة انضغاط أو وحدات شد.



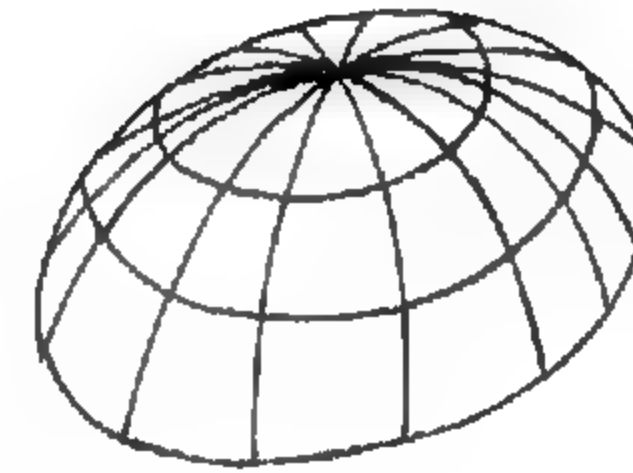
شكل ٢٣٤



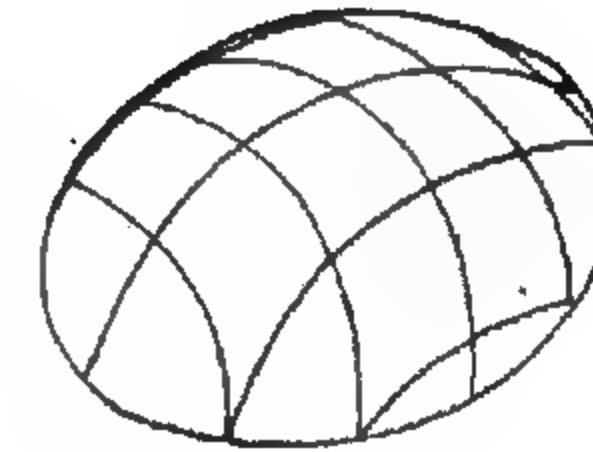
شكل ٢٣٥



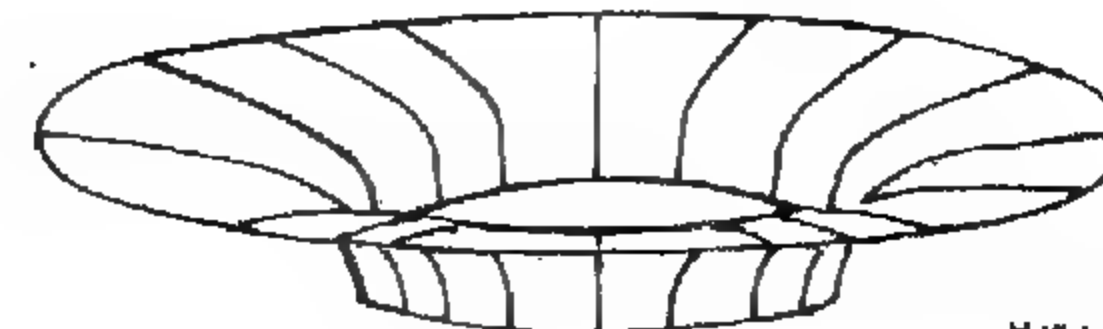
شكل ٢٣٣



شكل ٢٣٦



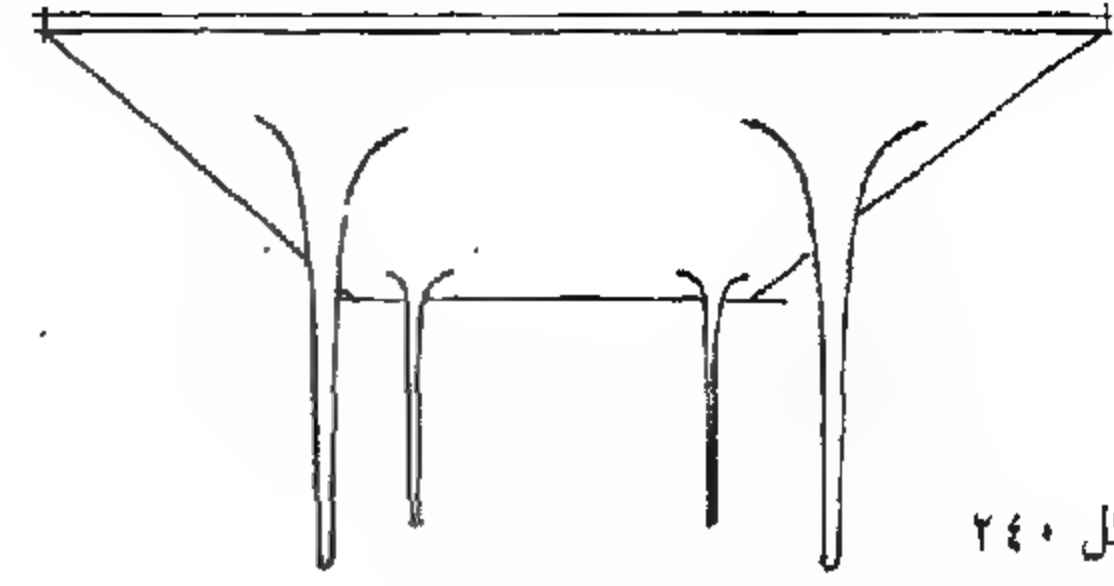
شكل ٢٣٧



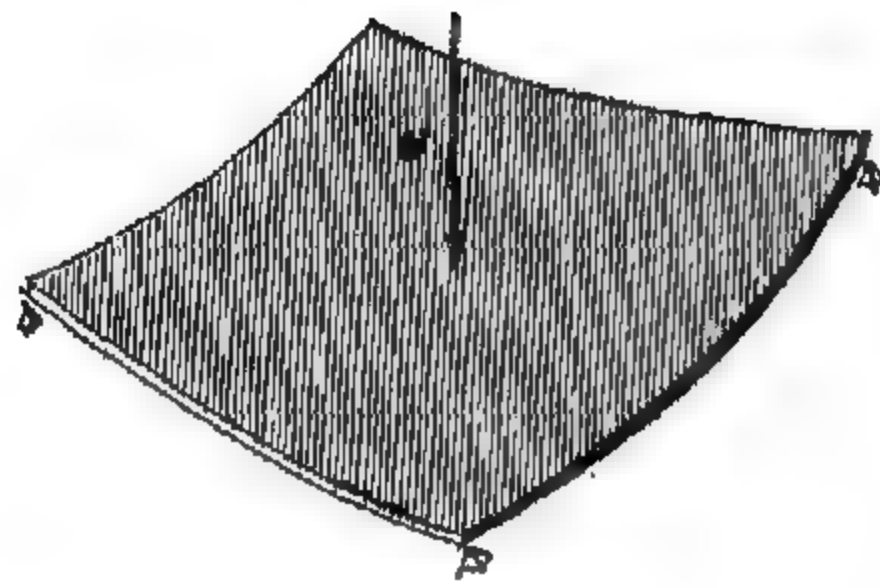
شكل ٢٣٨

الإنشاء الهيكل بالوحدات الخطية المتقاطعة

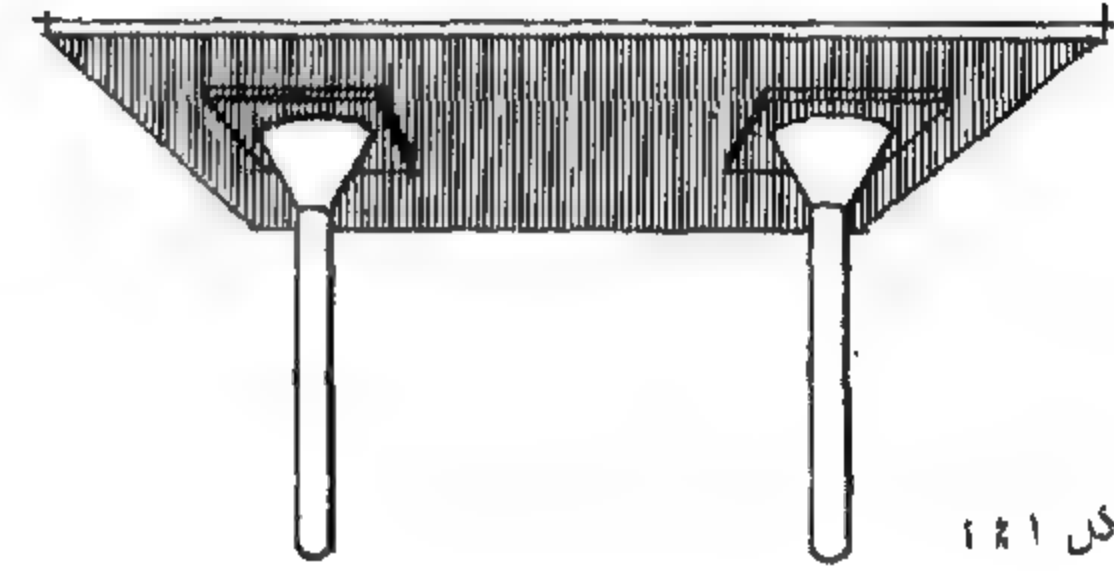
- (شكل ٢٣٣) سقف أفقي بكرات متقاطعة .
- (شكل ٢٣٤) سقف أسطواني بعقود متقاطعة .
- (شكل ٢٣٥) سقف محمل على عقدتين على محاور المستطيل أو المربع .
- (شكل ٢٣٦) قبة منطاة بعقود مركزية .
- (شكل ٢٣٧) قبة بمجموعتين من العقود المتوازية .
- (شكل ٢٣٨) سقف على شكل زهرة أكليد الصباح .



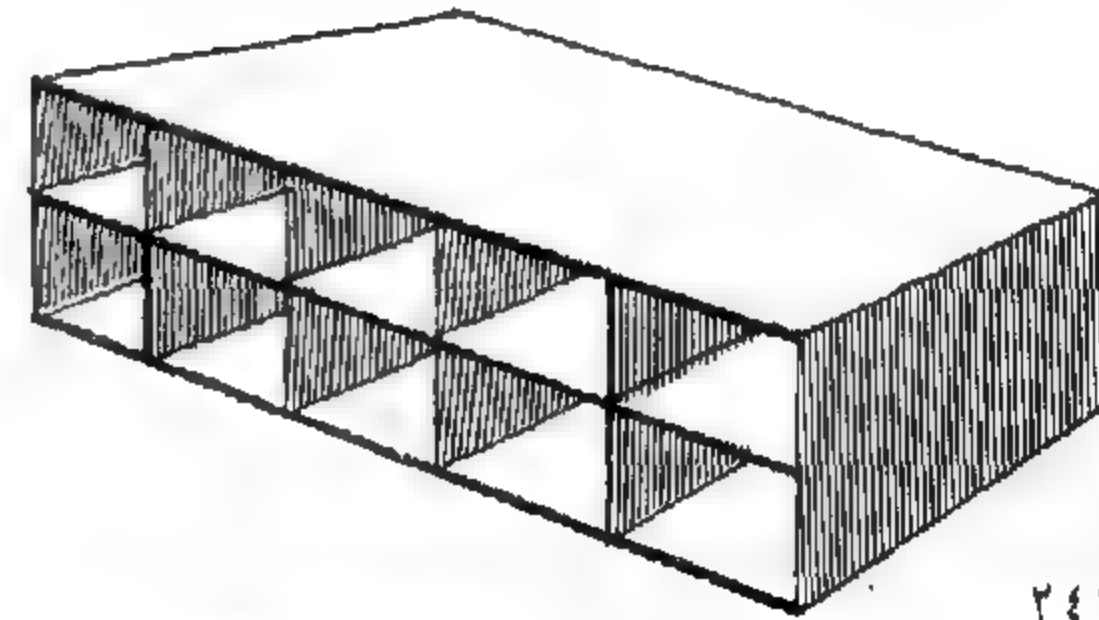
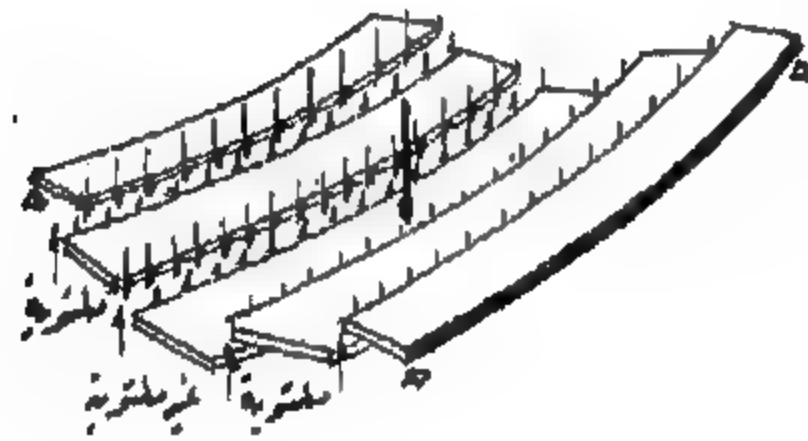
شكل ٢٤٠



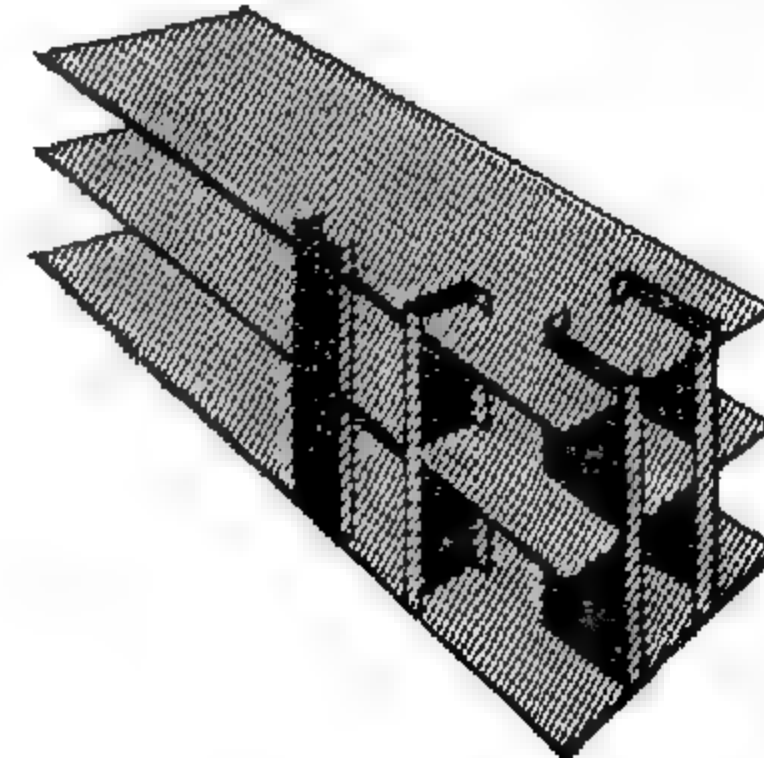
شكل ٢٣٩



شكل ٢٤١



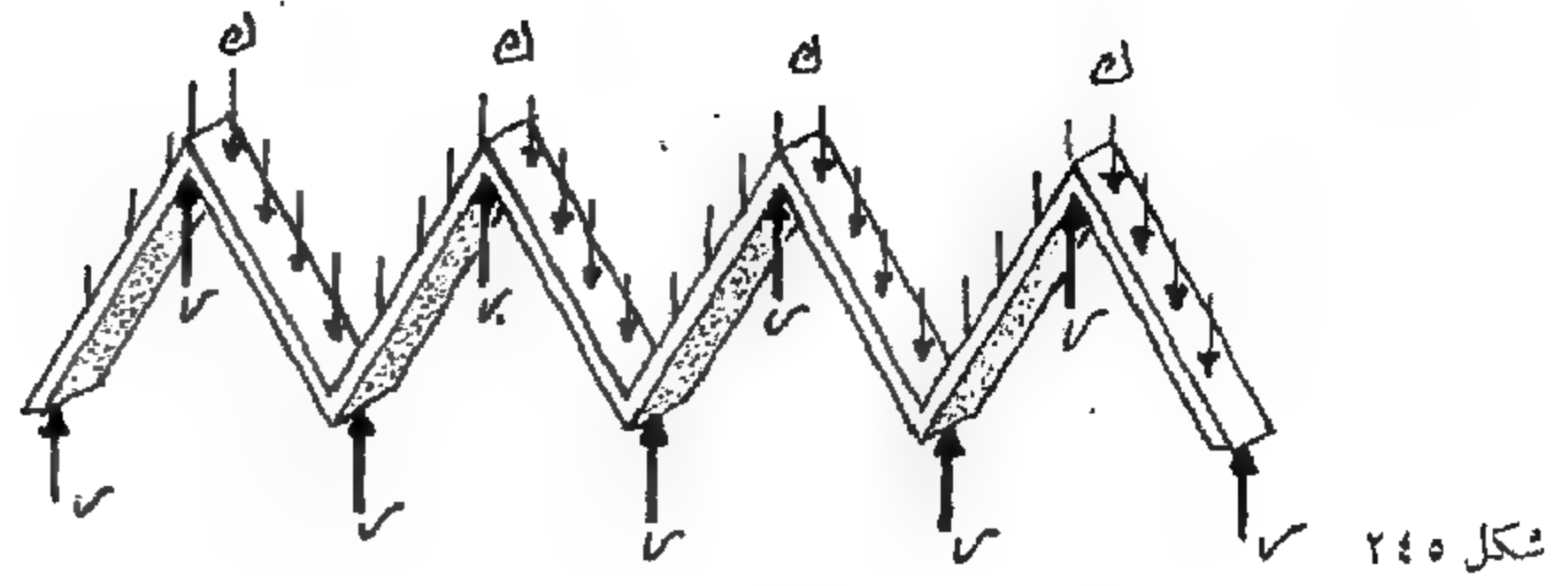
شكل ٢٤٢



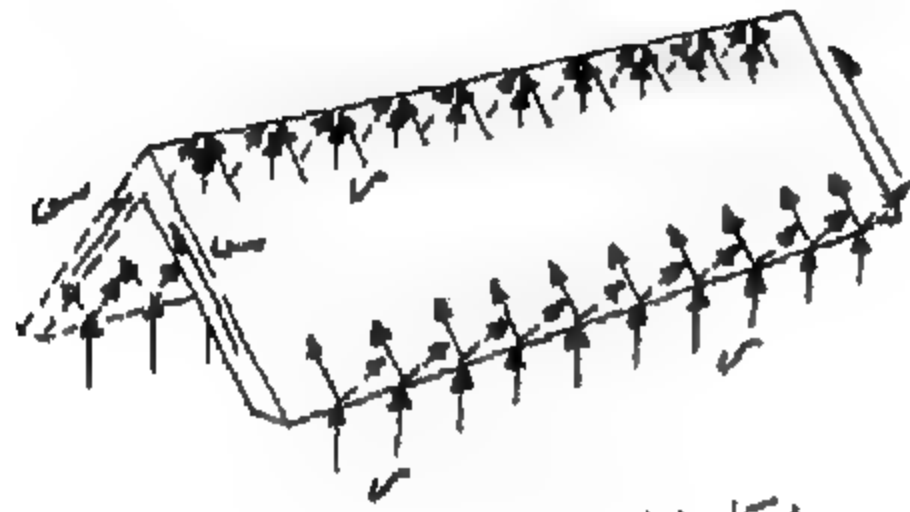
شكل ٢٤٣

الإنشاء بالأسطح الفعالة

- (شكل ٢٣٩) بلاطة فعالة .
- (شكل ٢٤٠) بلاطة فعالة محملة على أعمدة مشرومية .
- (شكل ٢٤١) بلاطة فعالة محملة على أعمدة مشرومية بيانونومات ساقطة .
- (شكل ٢٤٢) هيكل صندوق متعدد الأدوار .
- (شكل ٢٤٣) الإنشاء ذو الخلايا .



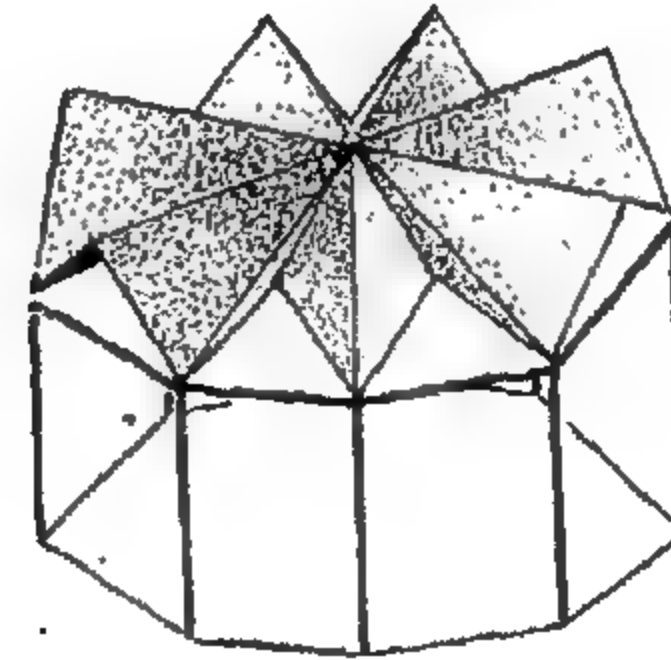
شكل ٢٤٥



شكل ٢٤٤



شكل ٢٤٦



شكل ٢٤٨



شكل ٢٤٧

الإنشاء بالأسطح الفعالة المنطوقة

(شكل ٢٤٤) البلاطة المنطوقة ككرة طولية.

(شكل ٢٤٥) الباكيات المنطوقة ككرات

عرضية مستمرة.

(شكل ٢٤٦) قطاعات مسنمة للبلاطات

المنطوقة.

(شكل ٢٤٧) قبة أسطوانية من بلاطات

منطوقة متعددة الأضلاع.

(شكل ٢٤٨) بلاطات منطوقة لتغطية

مساقط متعددة الأضلاع.

وحدات قشرية مفردة الانحناء

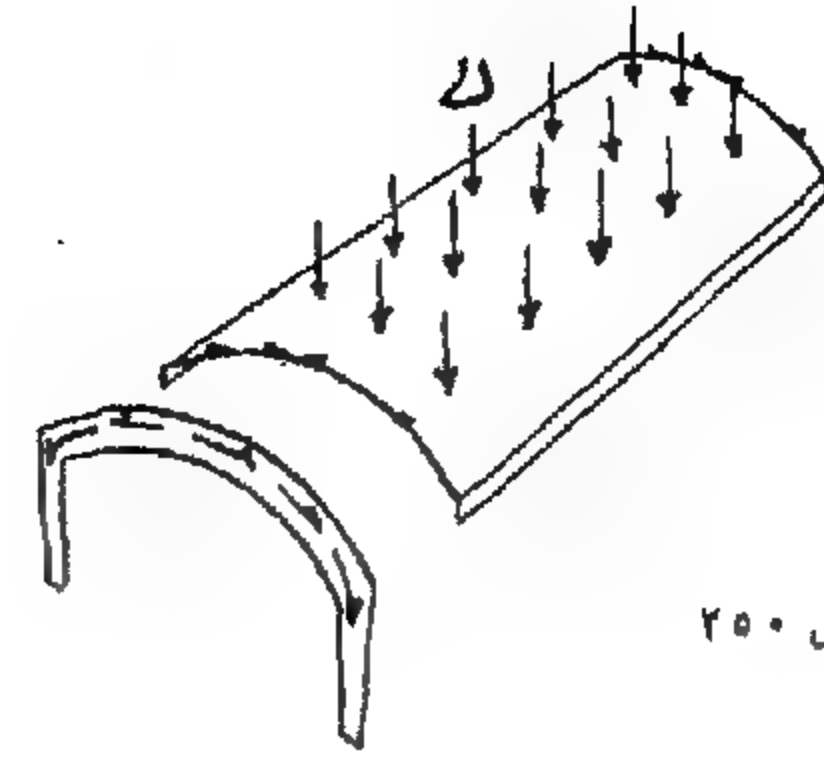
(شكل ٢٤٩) قنوت صدفية مفردة الانحناء.

(شكل ٢٥٠) قنوت صدفية طويلة محملة على هياكل طرفية.

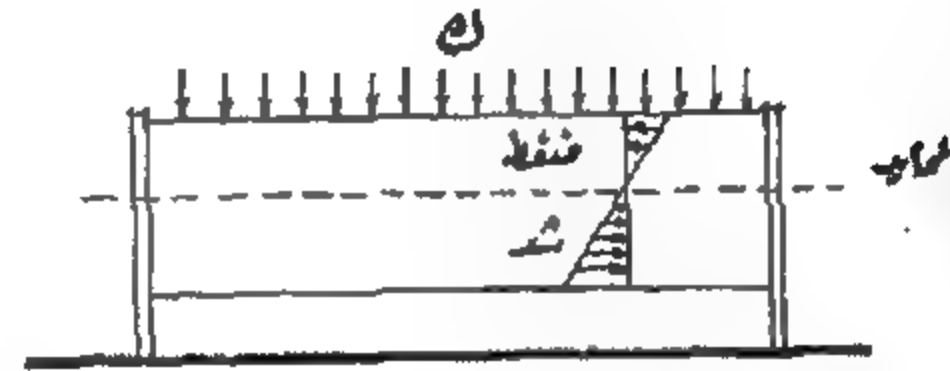
(شكل ٢٥١) القنوت الطويل ككرة محملة على هياكل طرفية - الإجهادات الطولية.

(شكل ٢٥٢) القنوت القصير - طريقة عمله الإجهادات الطولية به.

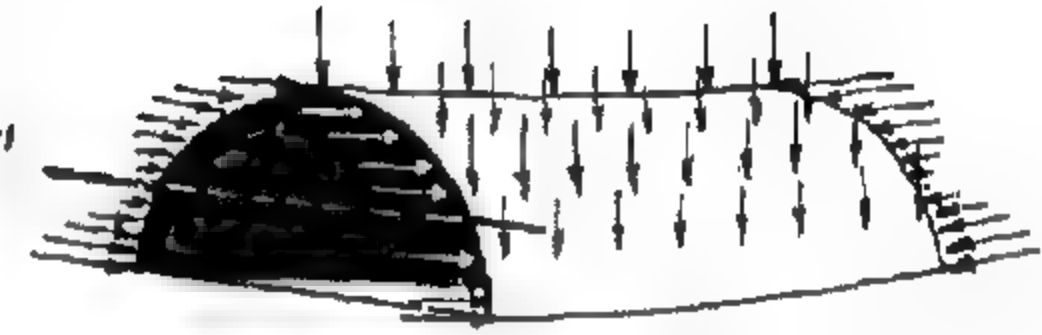
(شكل ٢٥٣) إجهادات الانحناء في القنوت الطويلة والقصيرة.



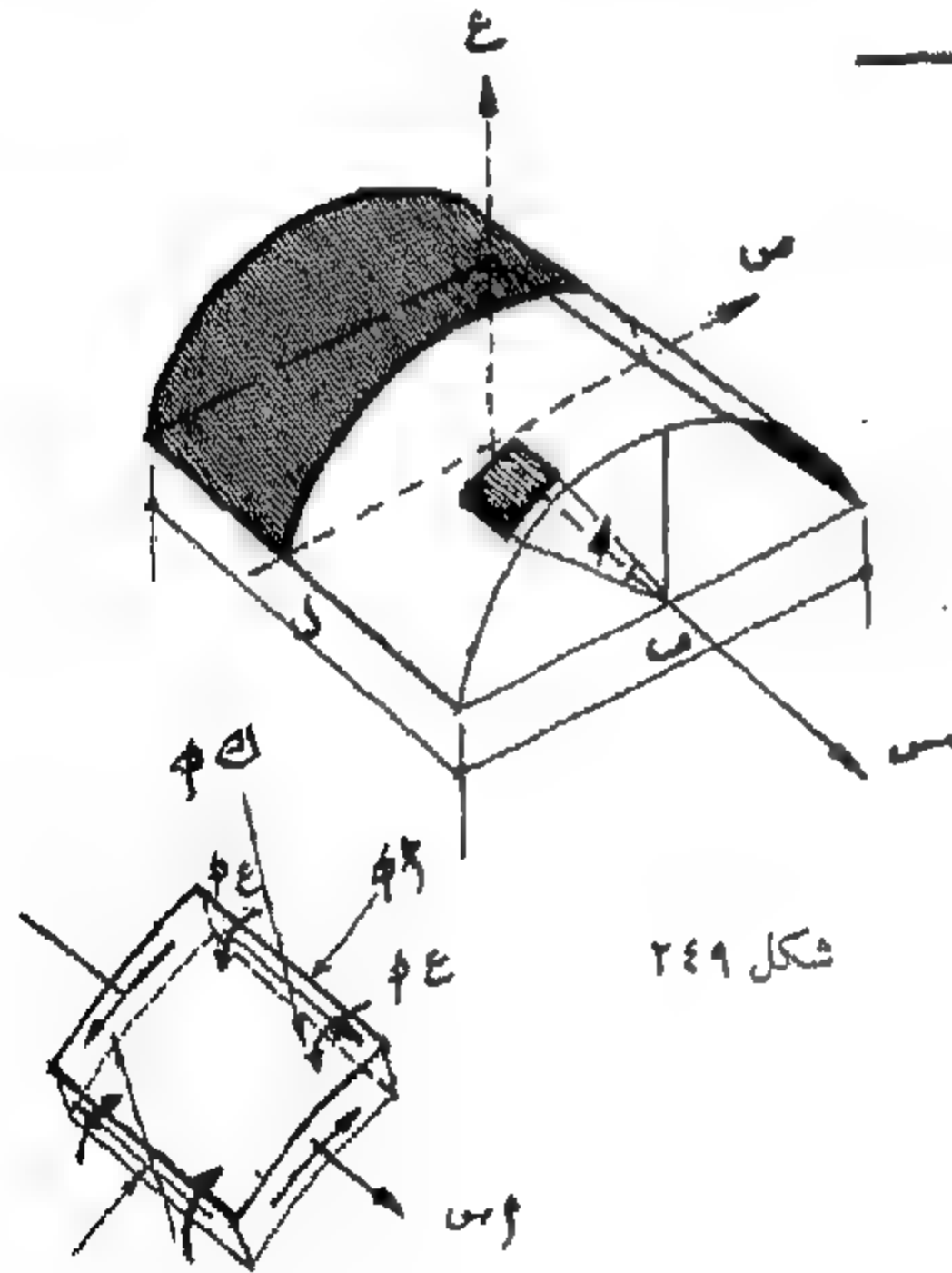
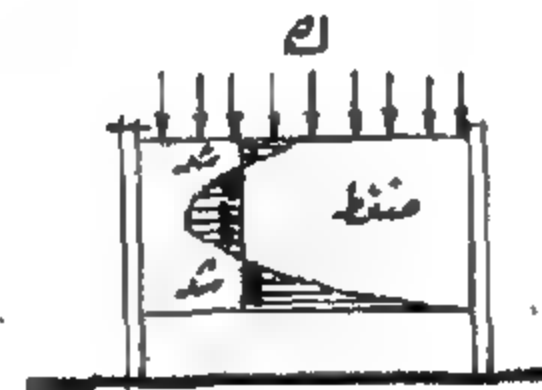
شكل ٢٥٠



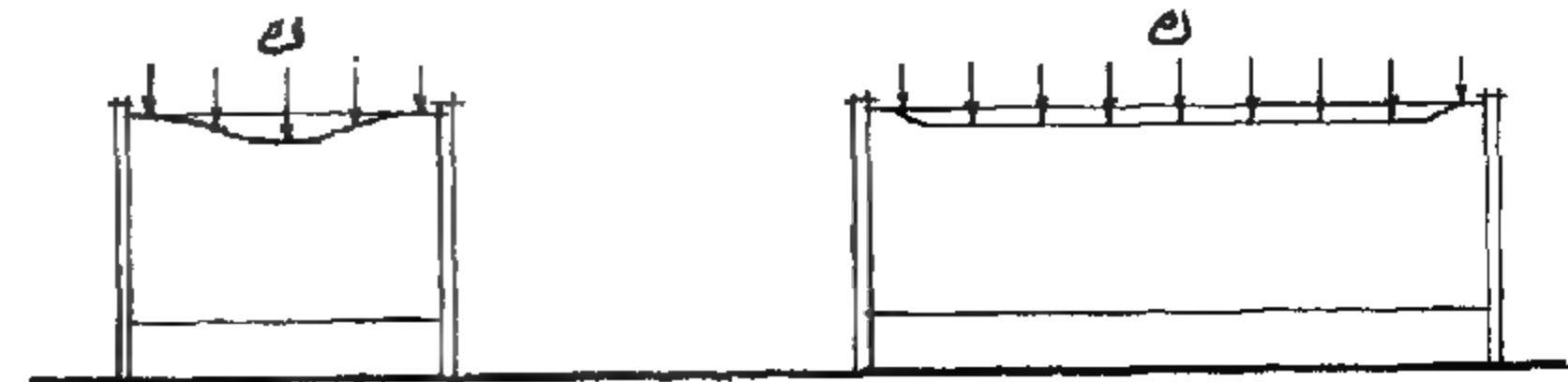
شكل ٢٥١



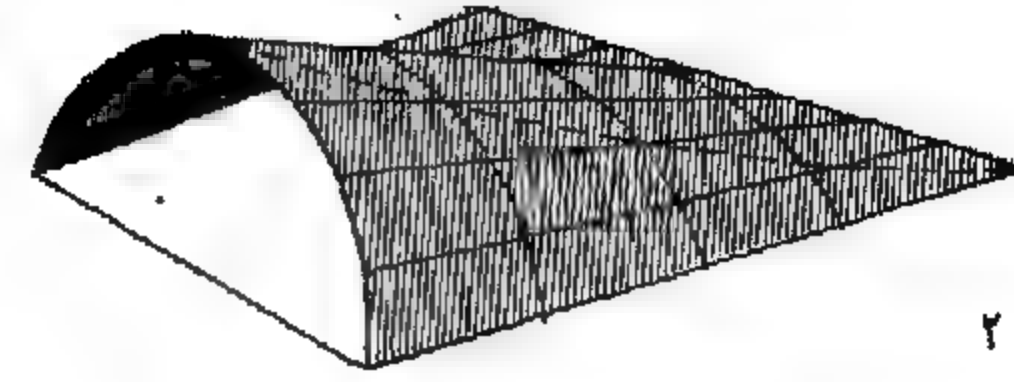
شكل ٢٥٢



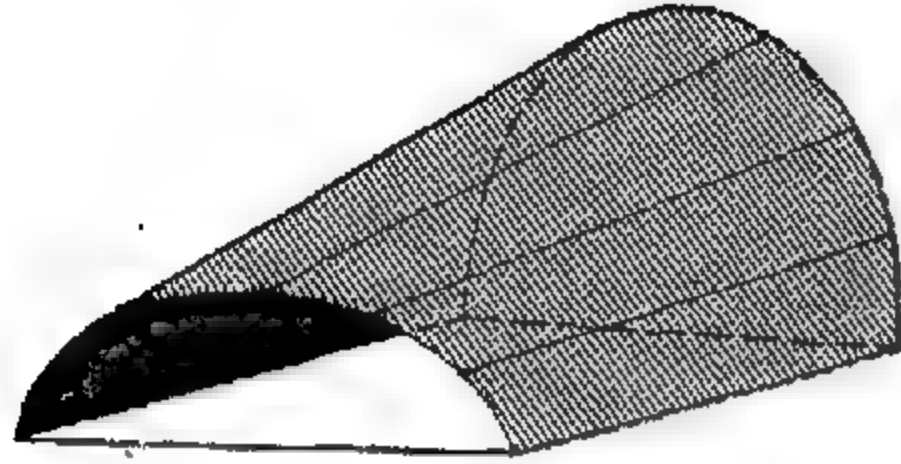
شكل ٢٤٩



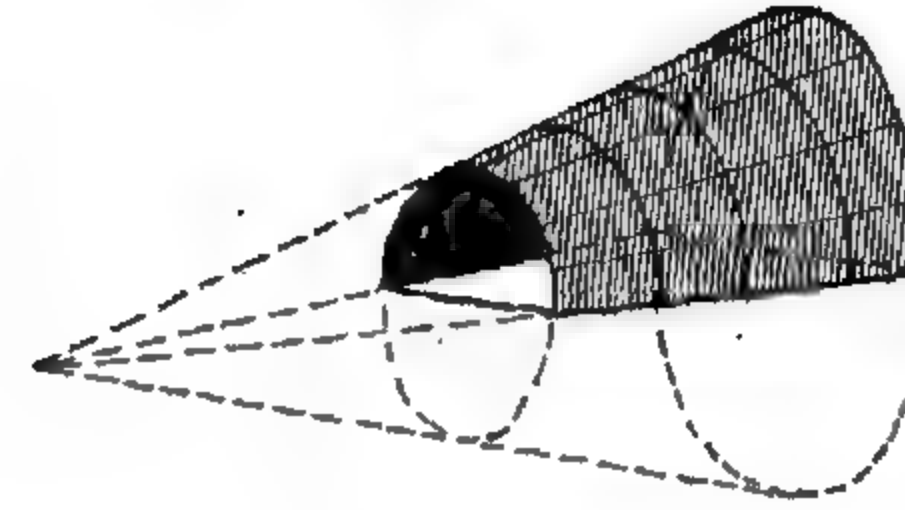
شكل ٢٥٣



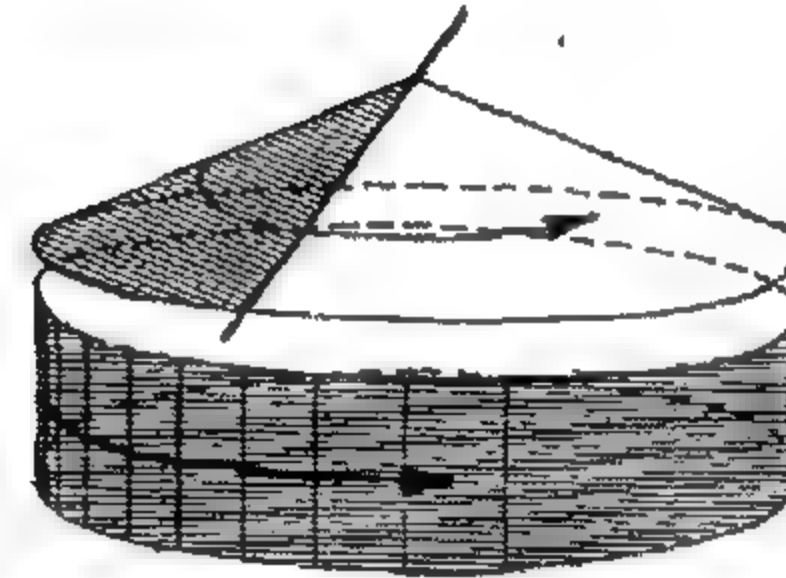
شكل ٢٥٥



شكل ٢٥٤

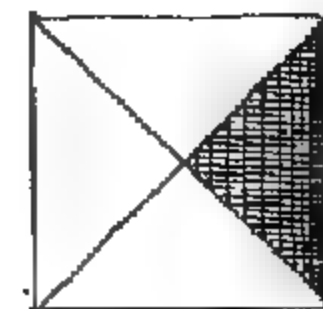
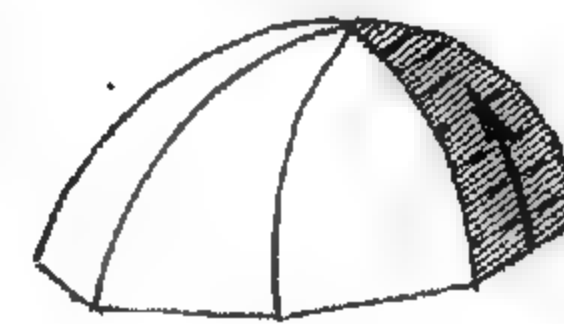
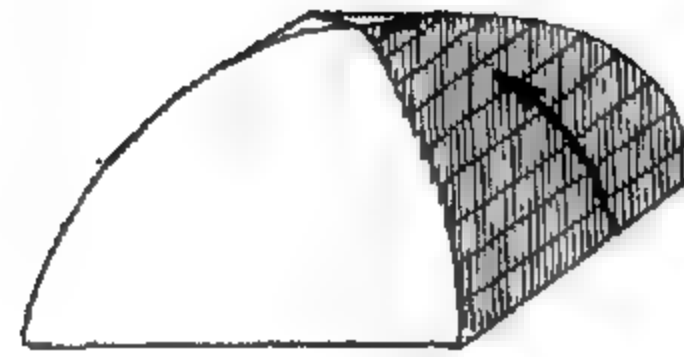


شكل ٢٥٦

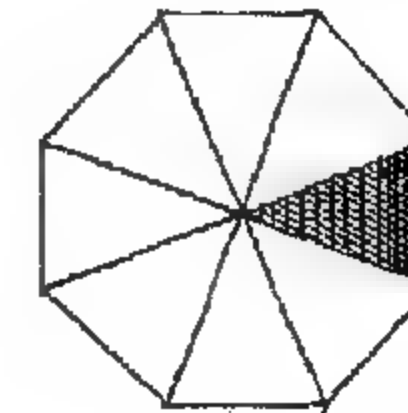


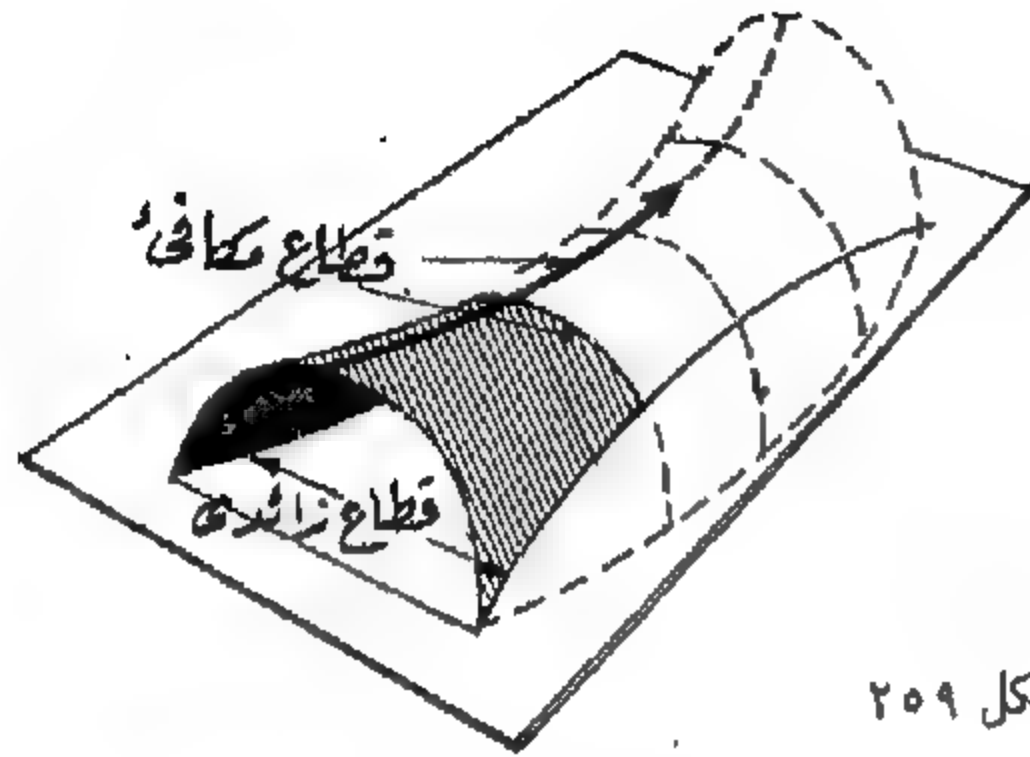
شكل ٢٥٧

وحدات قشرية مفردة الانحناء
 (شكل ٢٥٤) سطح كونيڊال .
 (شكل ٢٥٥) سطح شبه مخروطي .
 (شكل ٢٥٦) قطع مخروطي .
 (شكل ٢٥٧) سقف مخروطي وحائط أسطوانى
 قشري .
 (شكل ٢٥٨) أقبية أفنية .

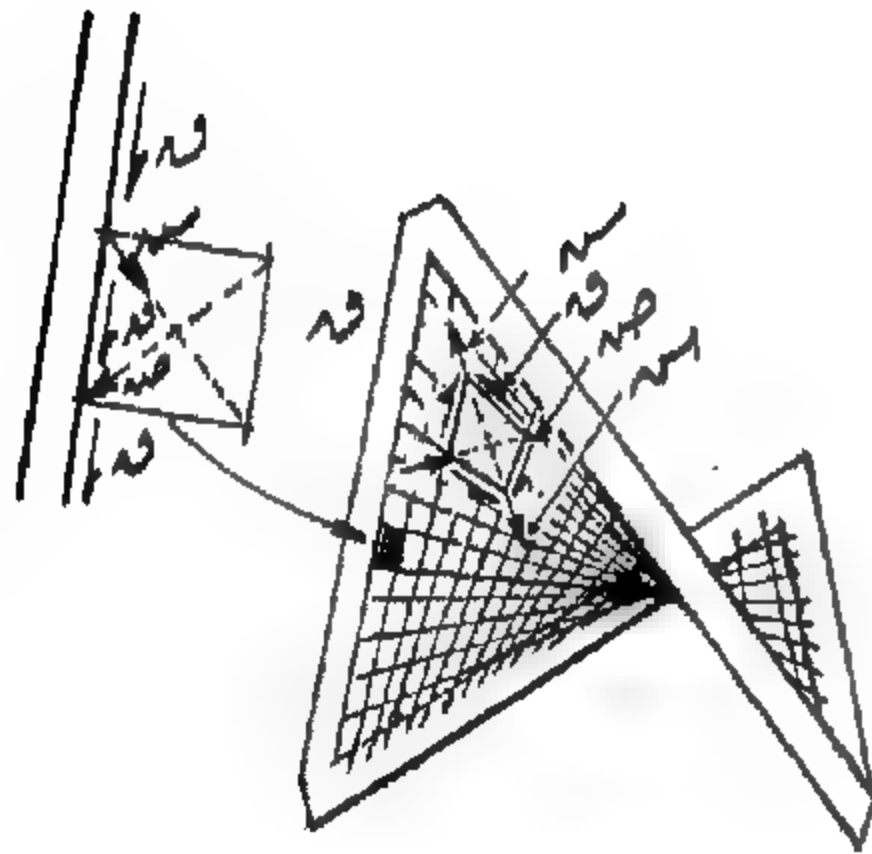


شكل ٢٥٨

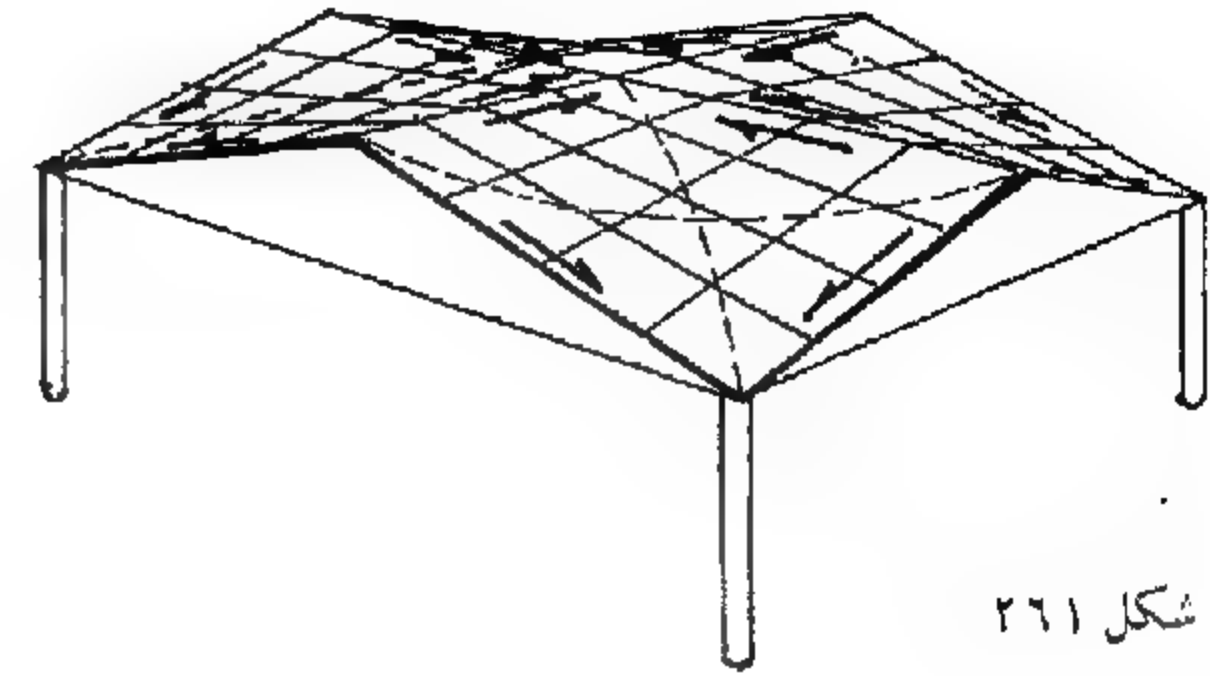




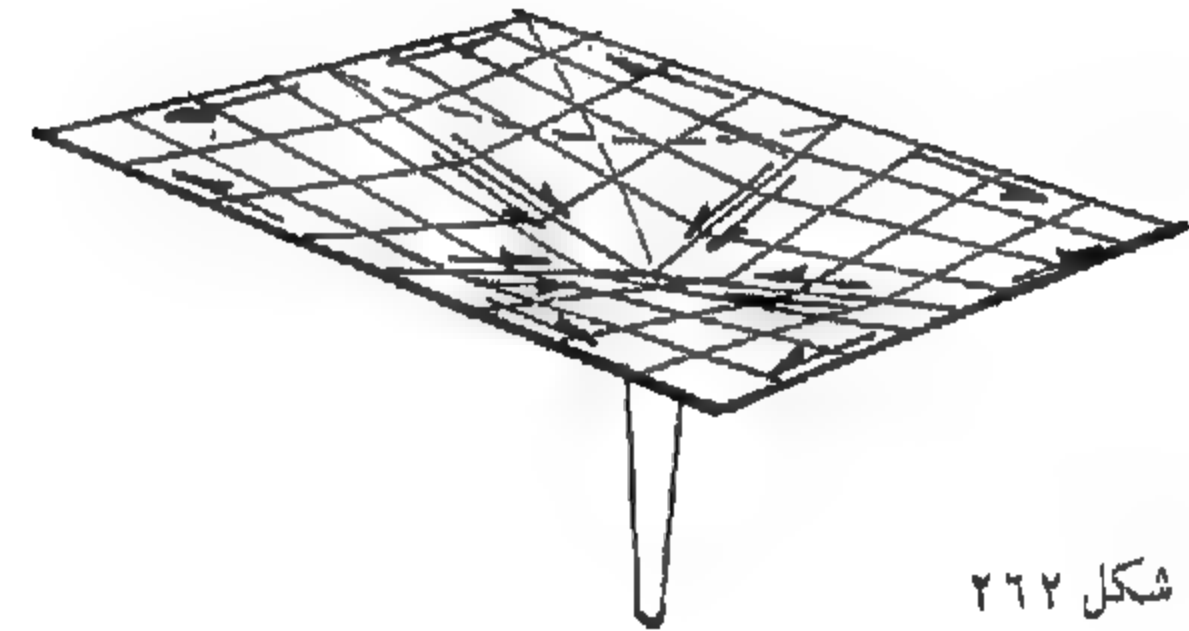
شكل ٢٥٩



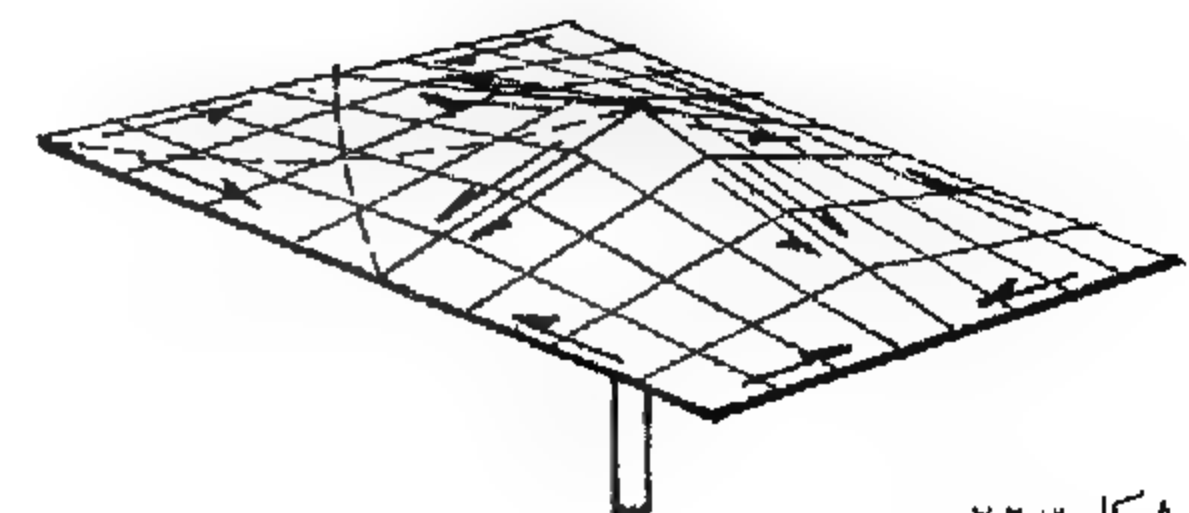
شكل ٢٦٠



شكل ٢٦١



شكل ٢٦٢



شكل ٢٦٣

وحدات قشرية مزدوجة الانحناء مختلفي الإشارة

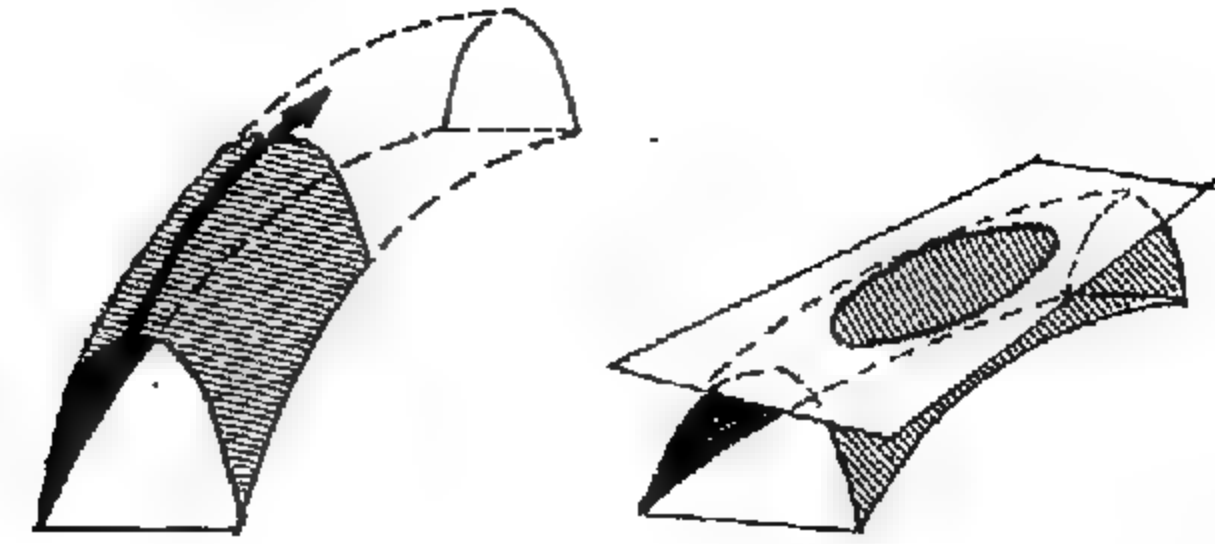
(شكل ٢٥٩) قطع زائدي مكافئ محمل على
طرفيه المنحنيين .

(شكل ٢٦٠) قطع زائدي مكافئ محمل على
رواسمه المستقيمة .

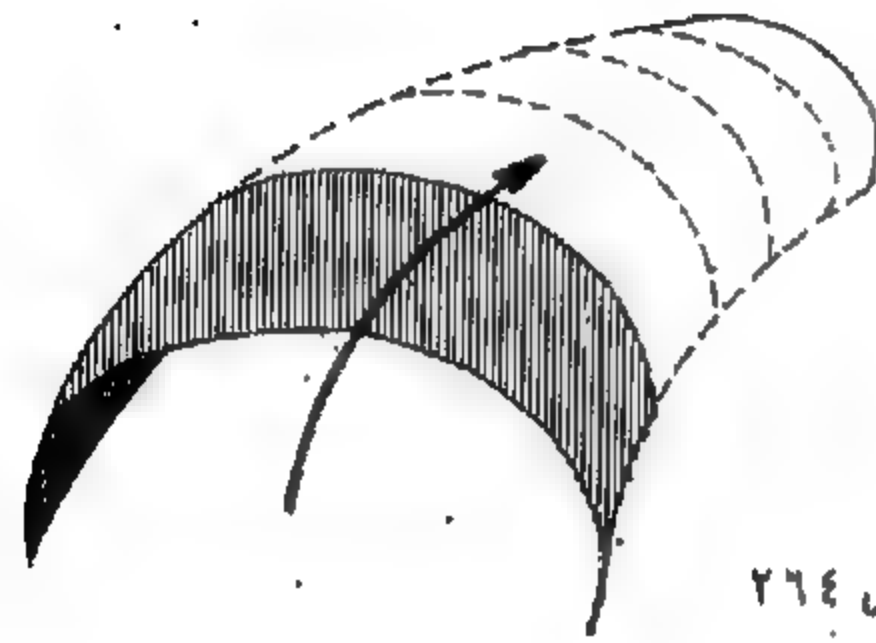
(شكل ٢٦١) أربع وحدات محملة على أربعة
أعمدة .

(شكل ٢٦٢) سقف مظلة من أربع وحدات
ونقط مركزية سفلى للتحميل .

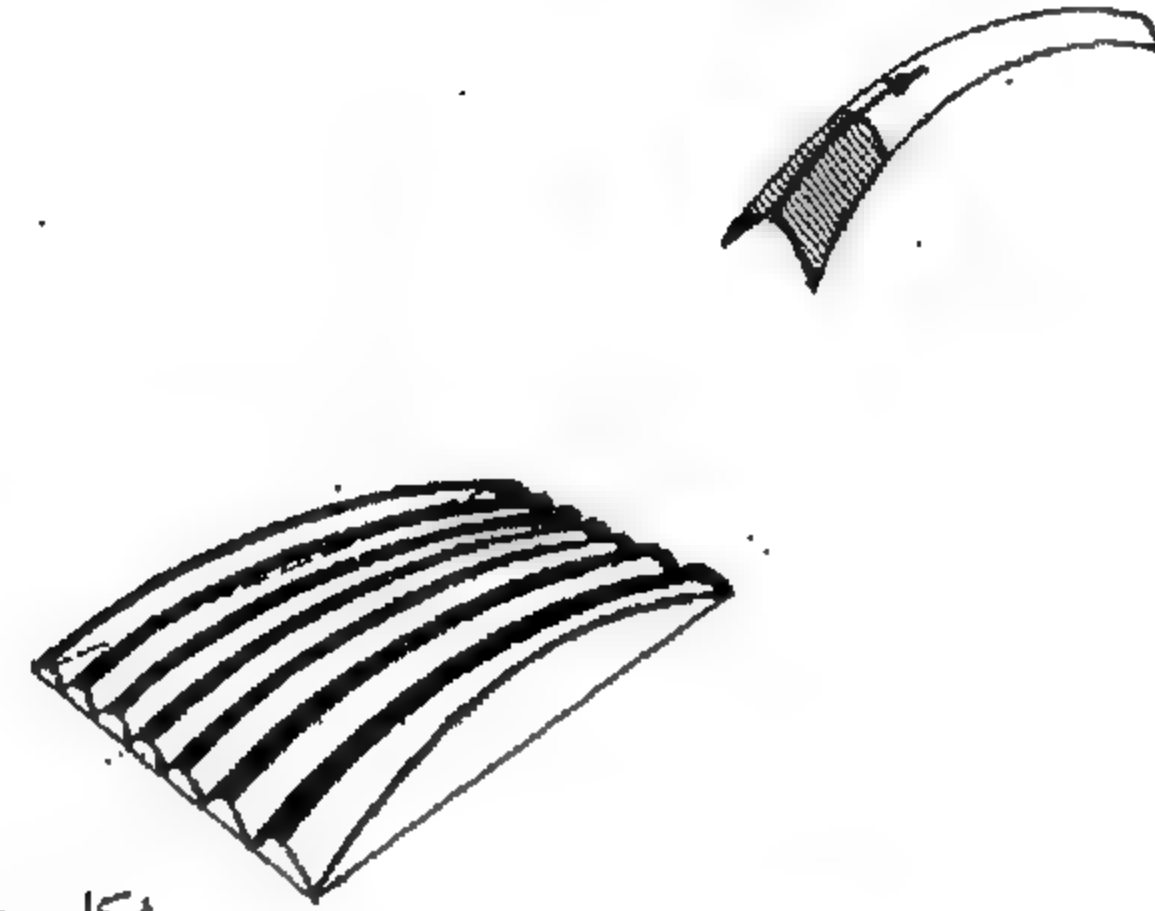
(شكل ٢٦٣) سقف مظلة من أربع وحدات
ونقط مركزية عليا للتحميل .



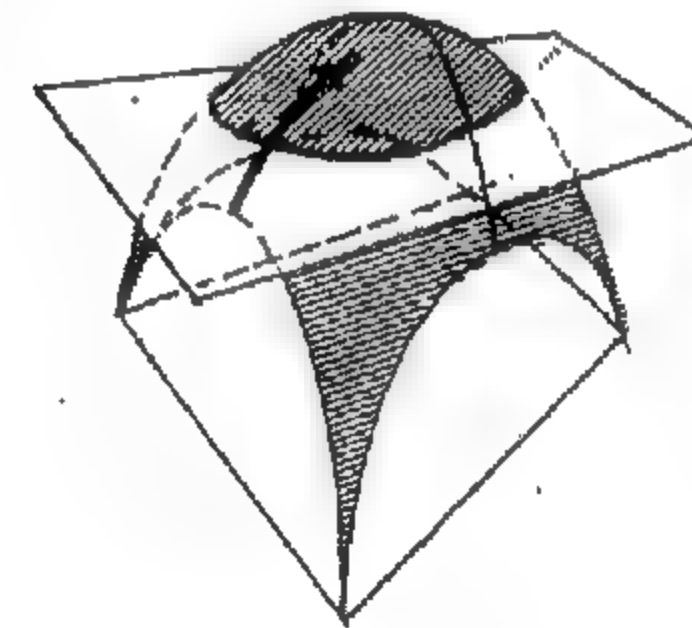
شكل ٢٦٥



شكل ٢٦٤



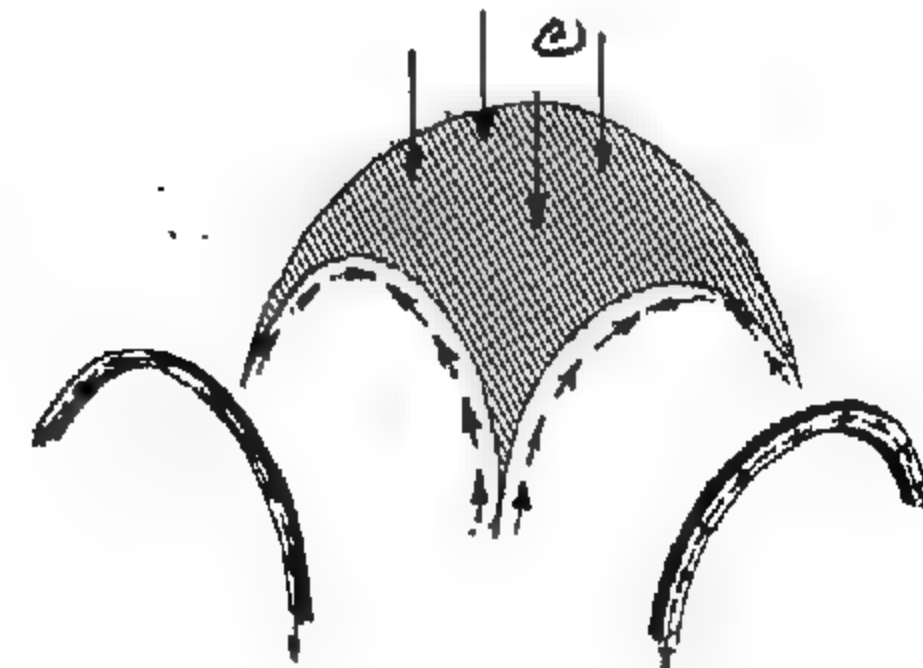
شكل ٢٦٧



شكل ٢٦٦

وحدات قشرية مزدوجة الالتواء من
نفس الإشارة — انتقالية

- (شكل ٢٦٤) أسطح انتقالية
- (شكل ٢٦٥) قطاع مكافئ ناقص مستطيل .
- (شكل ٢٦٦) قطاع مكافئ مربع .
- (شكل ٢٦٧) أسطح مكافئة أسطوانية .
- (شكل ٢٦٨) لإجهادات القص المحيطة في
الأسطح الانتقالية .



شكل ٢٦٨

وحدات قشرية مزدوجة الانحناء - دورانية

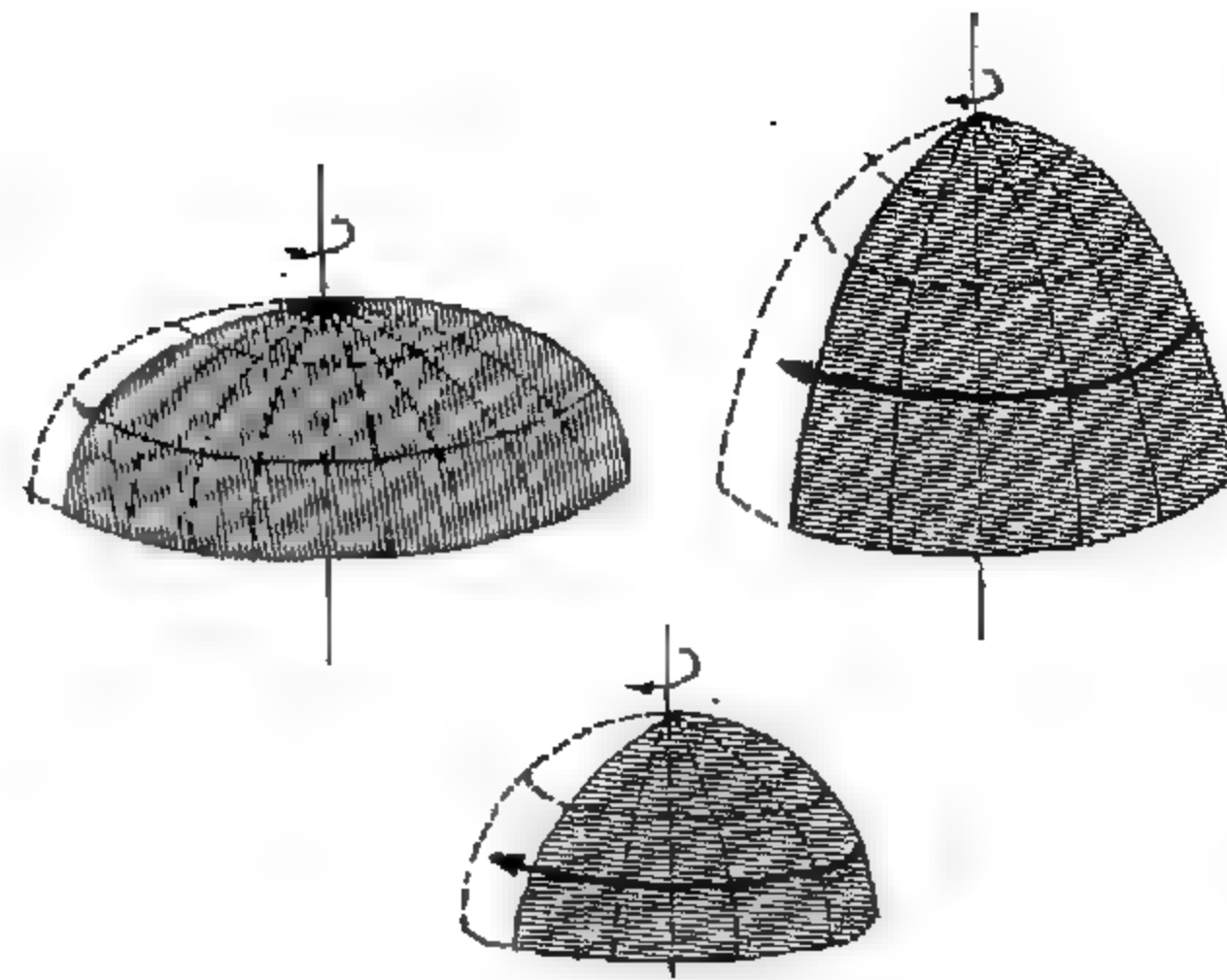
(شكل ٢٦٩) إجهادات على الرأس في
القباب الدورانية .

(شكل ٢٧٠) الإجهادات نتيجة للرياح
(شكل ٢٧١) أسطح دورانية على شكل
قطاع ناقص ومكافئ ودائري .

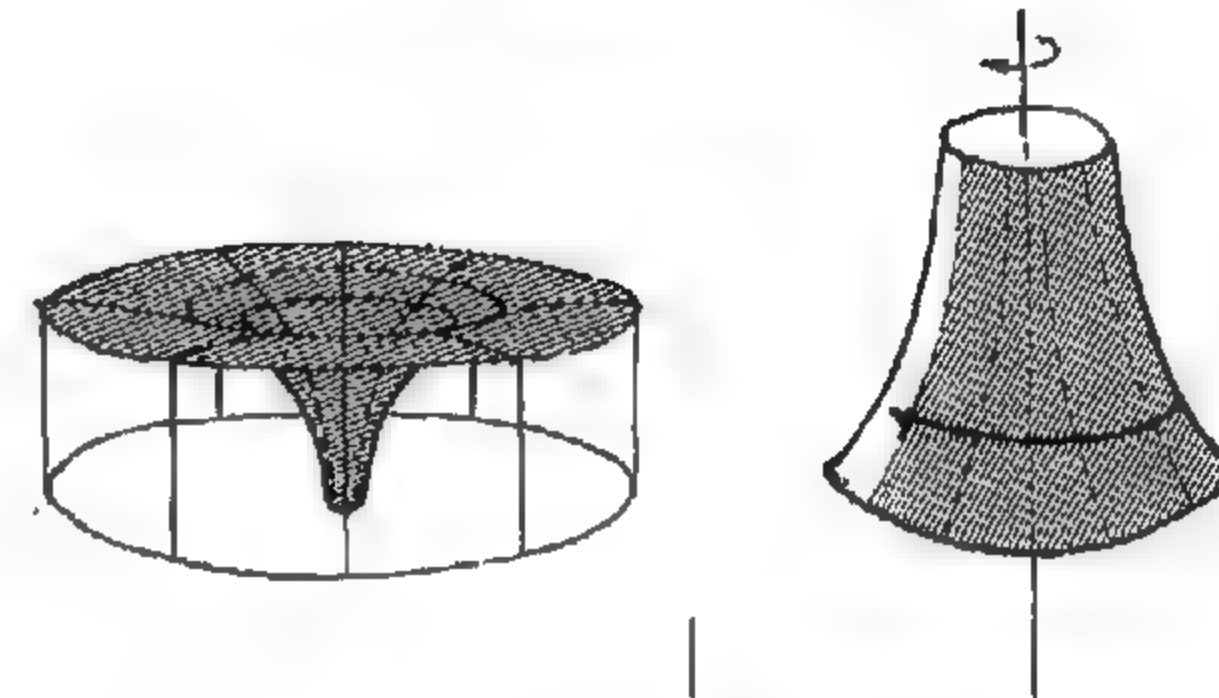
(شكل ٢٧٢) أسطح إكليل الصباح .

(شكل ٢٧٣) سطح أسطوانى حلقى .

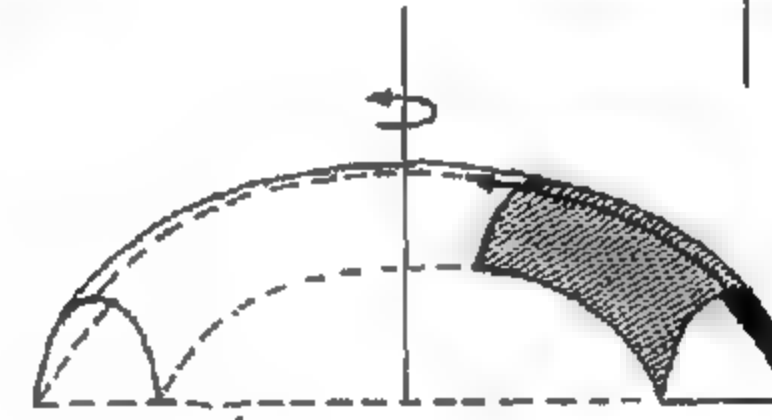
(شكل ٢٧٤) سطح شرنقي دوراني وعلى
شكل قطاع ناقص وعلى شكل قطرة مياه .



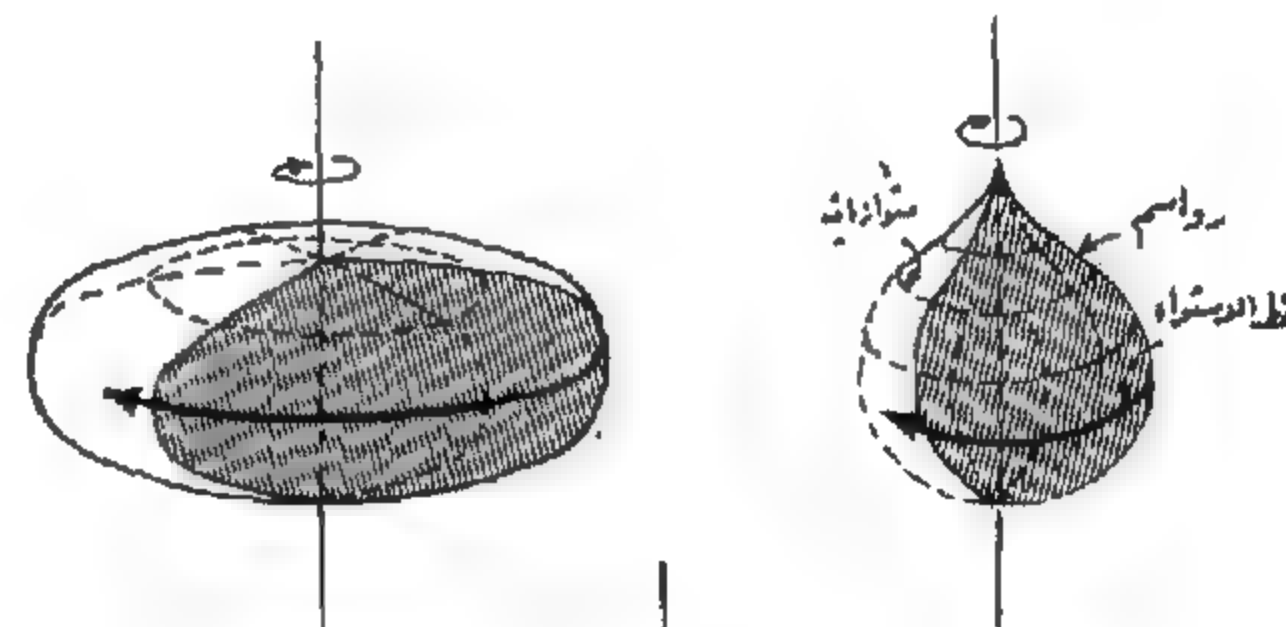
شكل ٢٧١



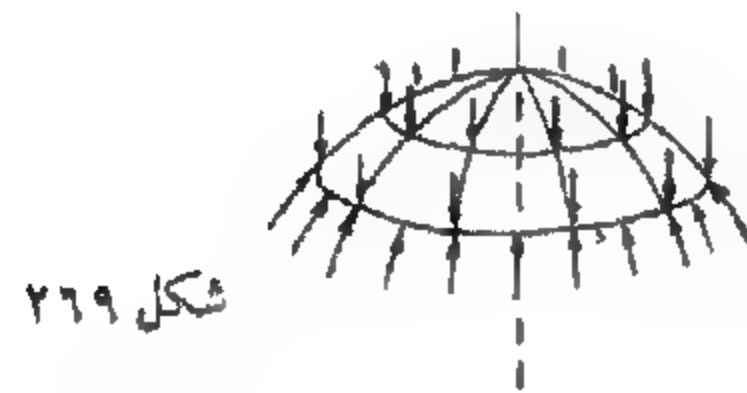
شكل ٢٧٢



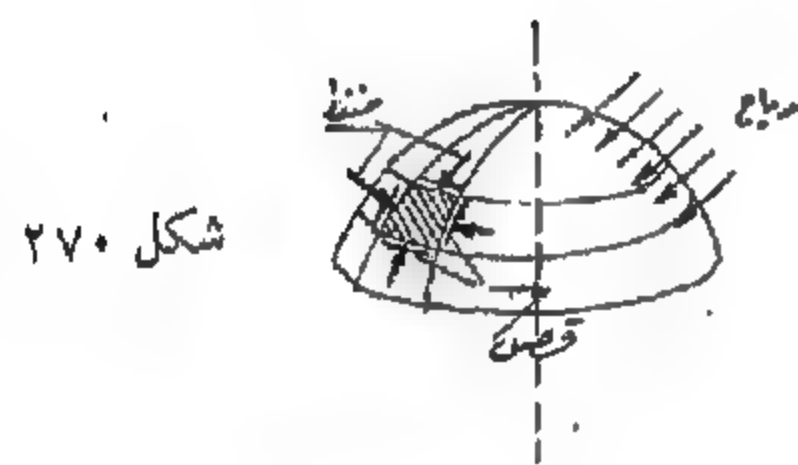
شكل ٢٧٣



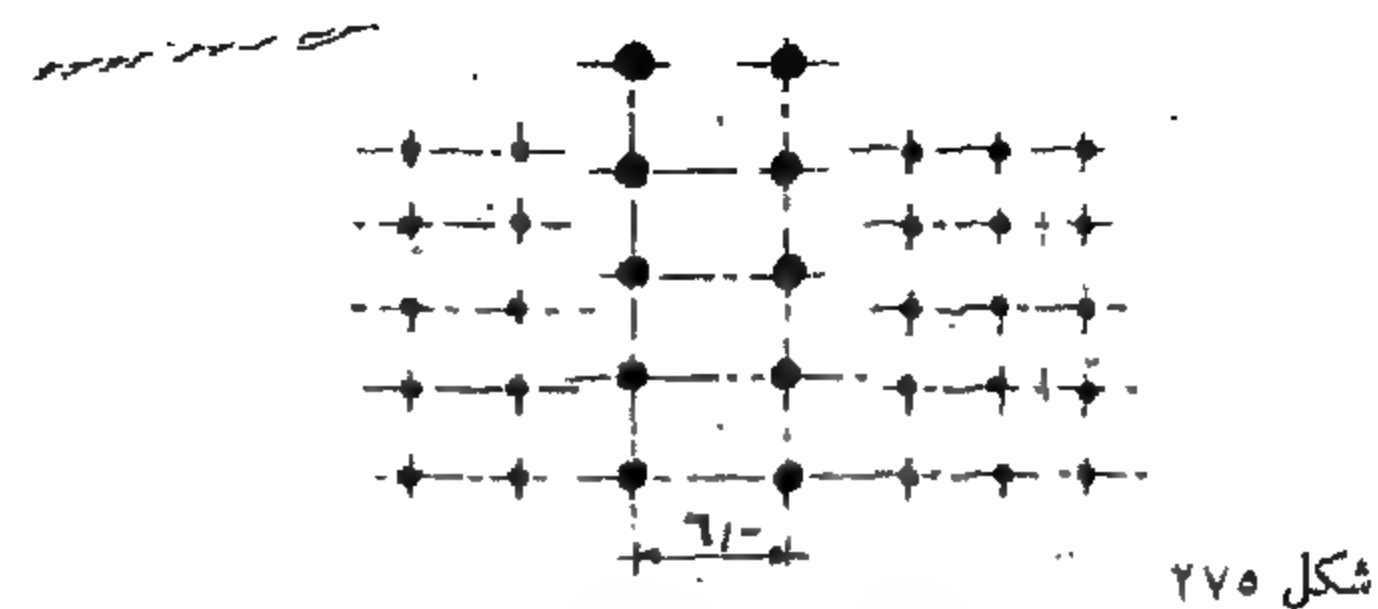
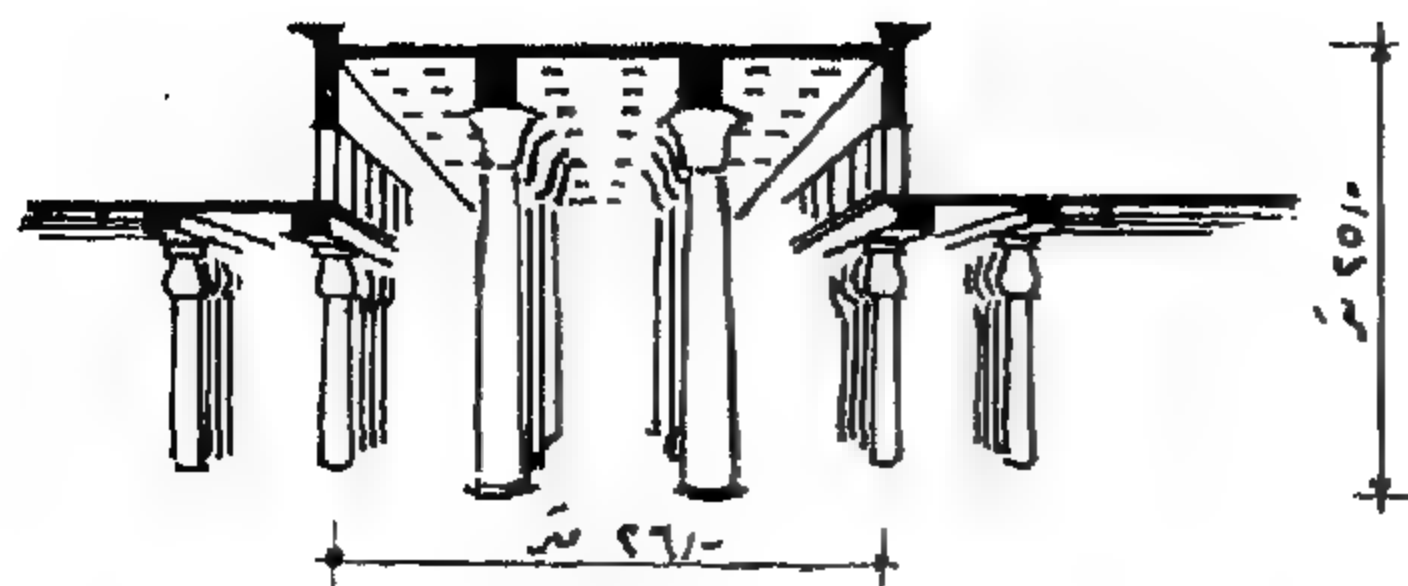
شكل ٢٧٤



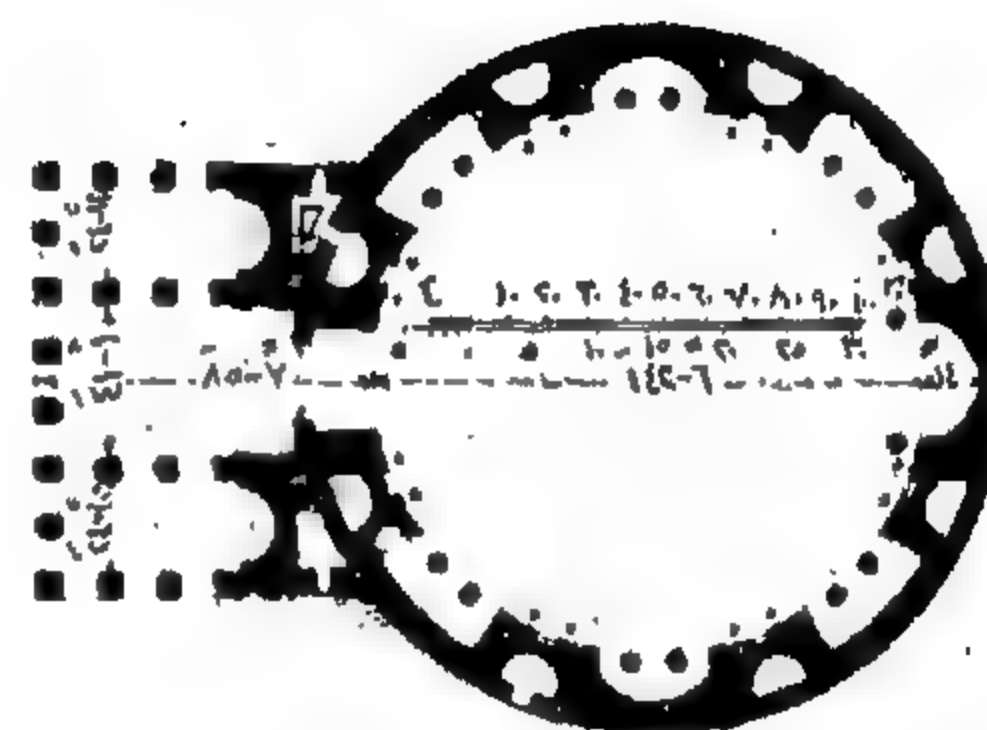
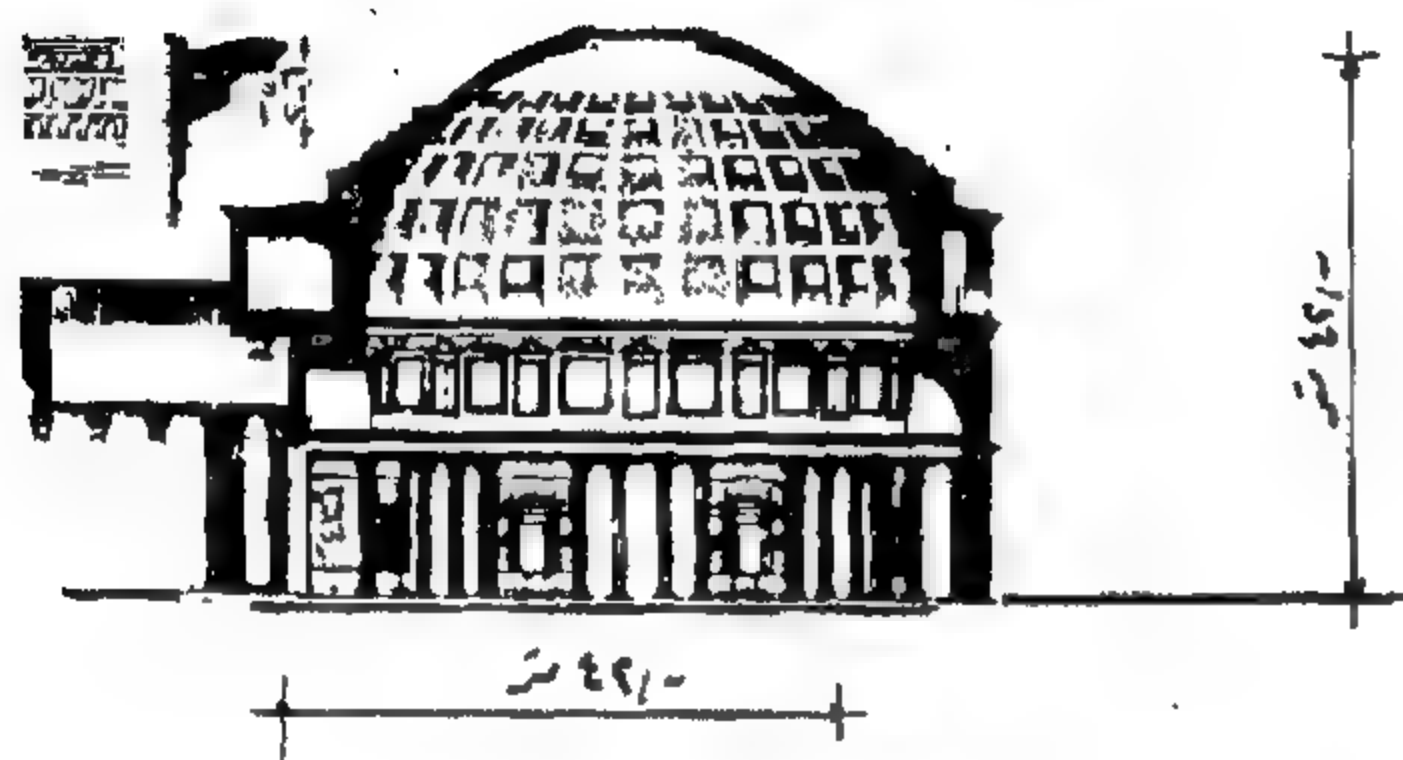
شكل ٢٦٩



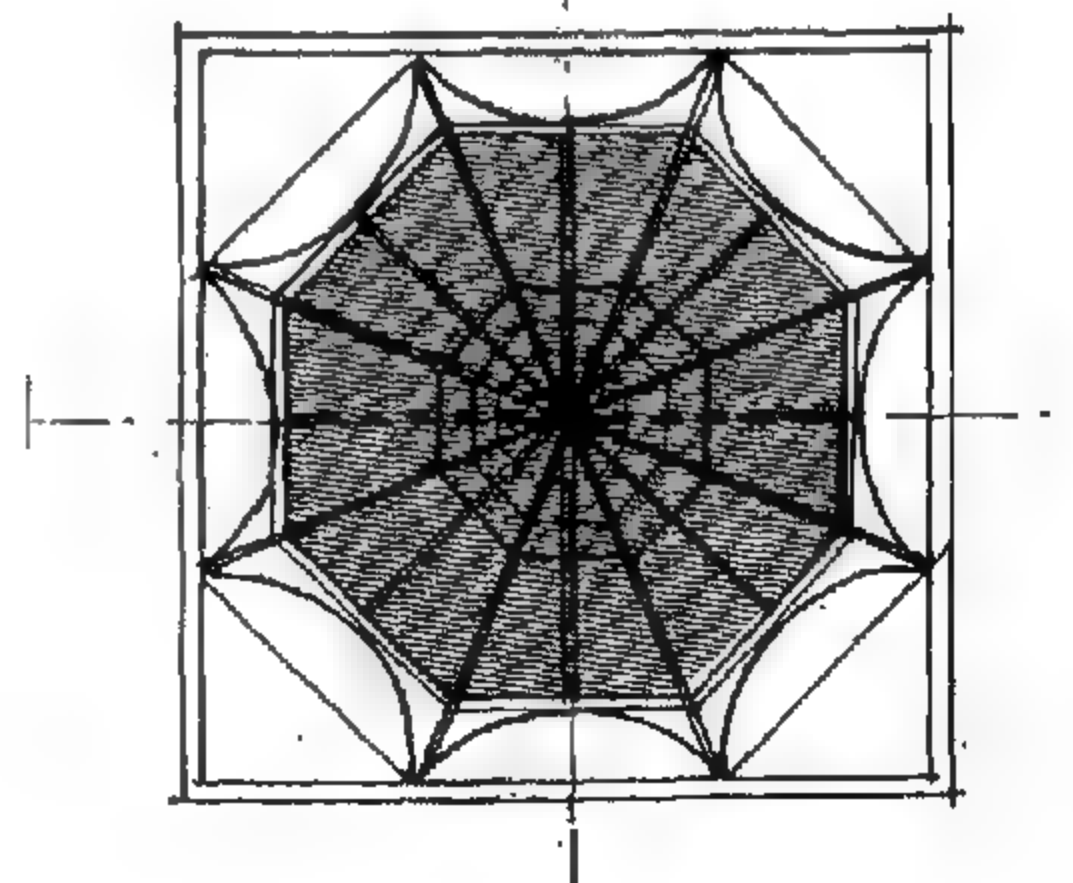
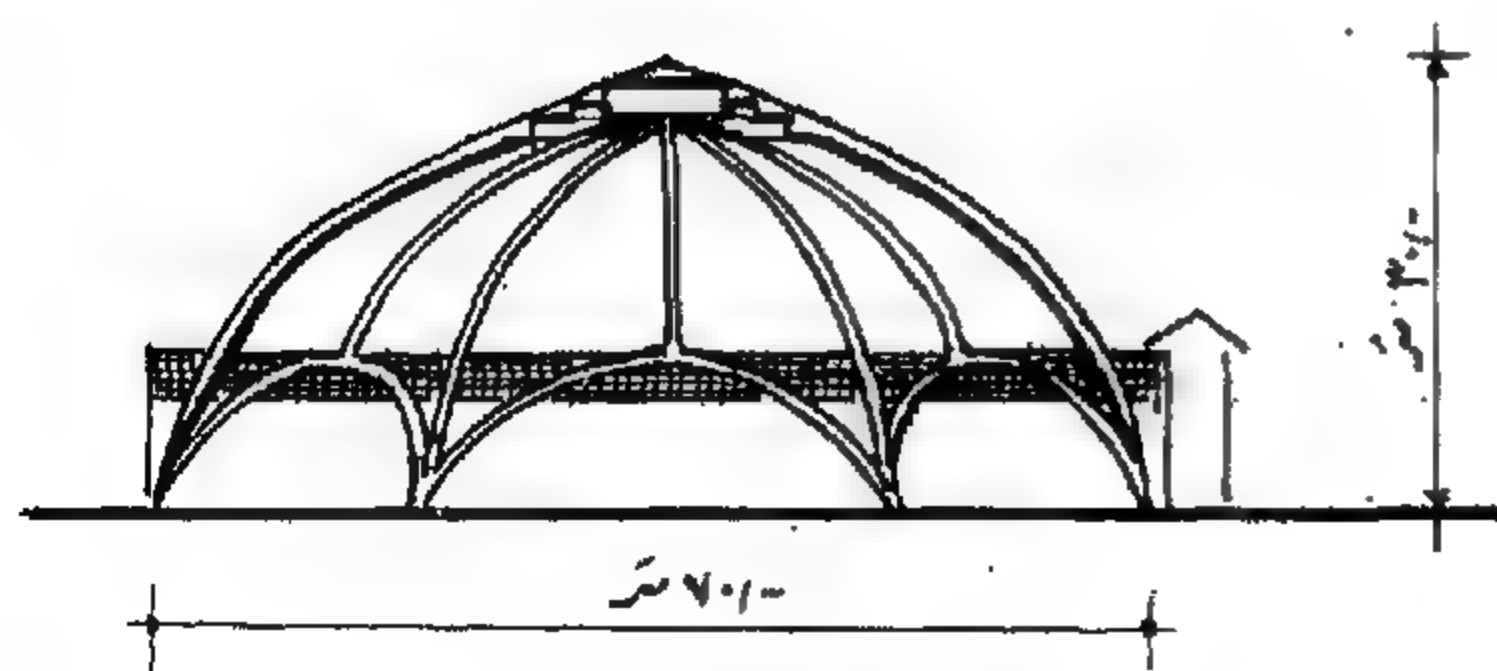
شكل ٢٧٠



شكل ٢٧٥



شكل ٢٧٦



شكل ٢٧٧

النسب العامة للفراغ بالمواد المختلفة

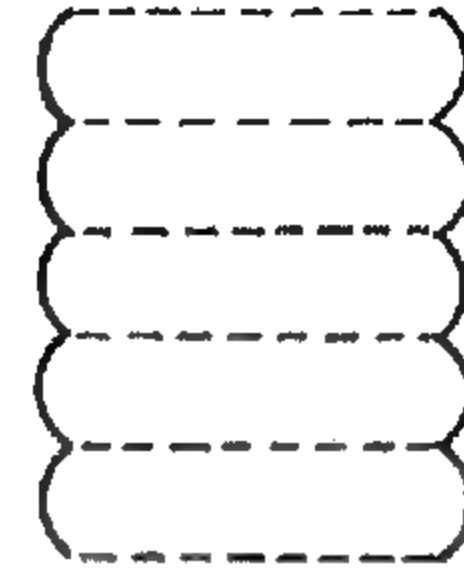
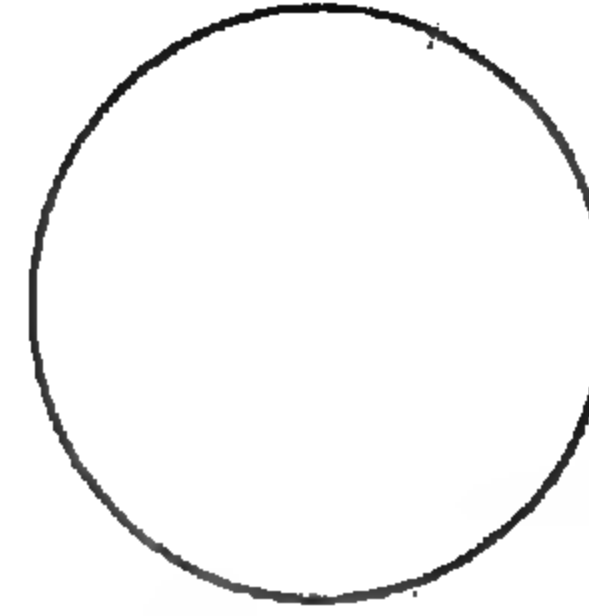
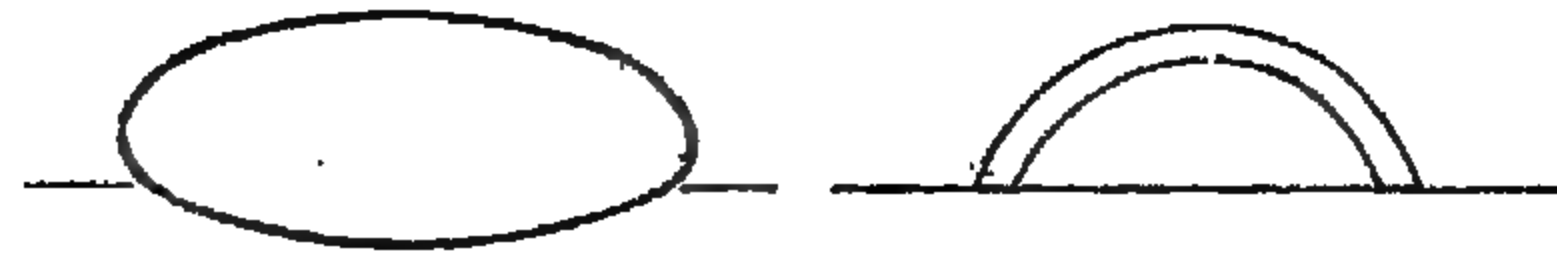
(شكل ٢٧٥) الإنشاء المصري القديم بالحجارة - معبد الكرنك بالأقصر.

(شكل ٢٧٦) الإنشاء الروماني بالطوب والحرسنة - البانثيون بروما.

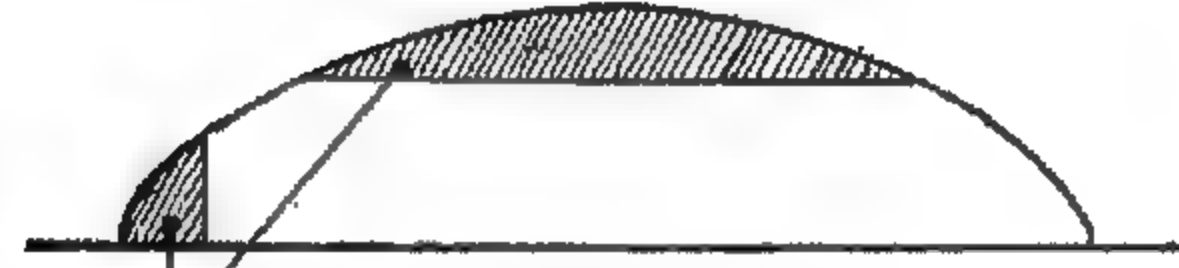
(شكل ٢٧٧) الإنشاء الحديث بالحرسنة المسلحة - صالة السوق في لينج.

مشاكل الفراغات المعمارية المحددة بالأسطح الفعالة

- (شكل ٢٧٨) مساقط وقطاعات منحنية .
- (شكل ٢٧٩) فراغات معمارية صعبة الاستعمال أو ميتة .
- (شكل ٢٨٠) عدم مرونة بالنسبة للقشرة الخارجية وحرية في الفراغ العام الداخلي .
- (شكل ٢٨١) صعوبة الفتحات في القشرة الخارجية .

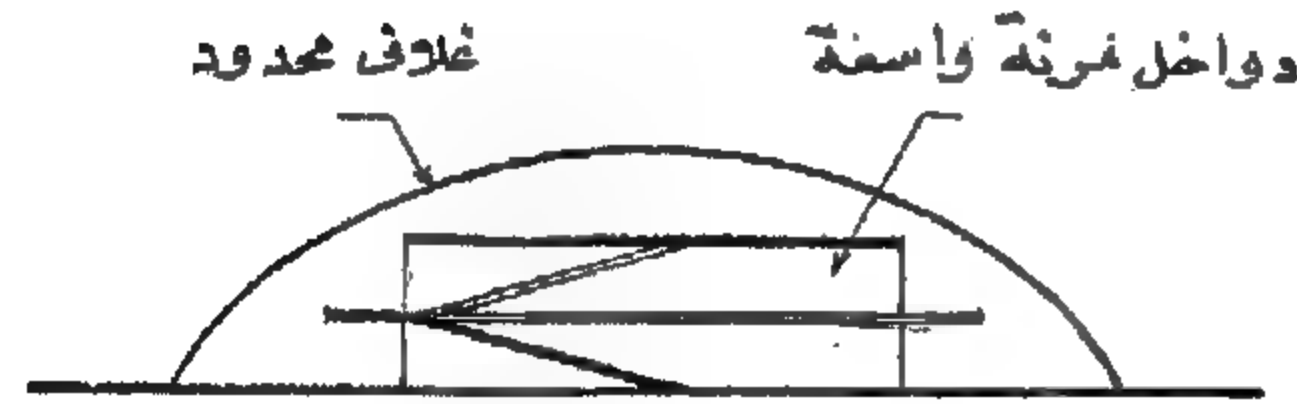


شكل ٢٧٨



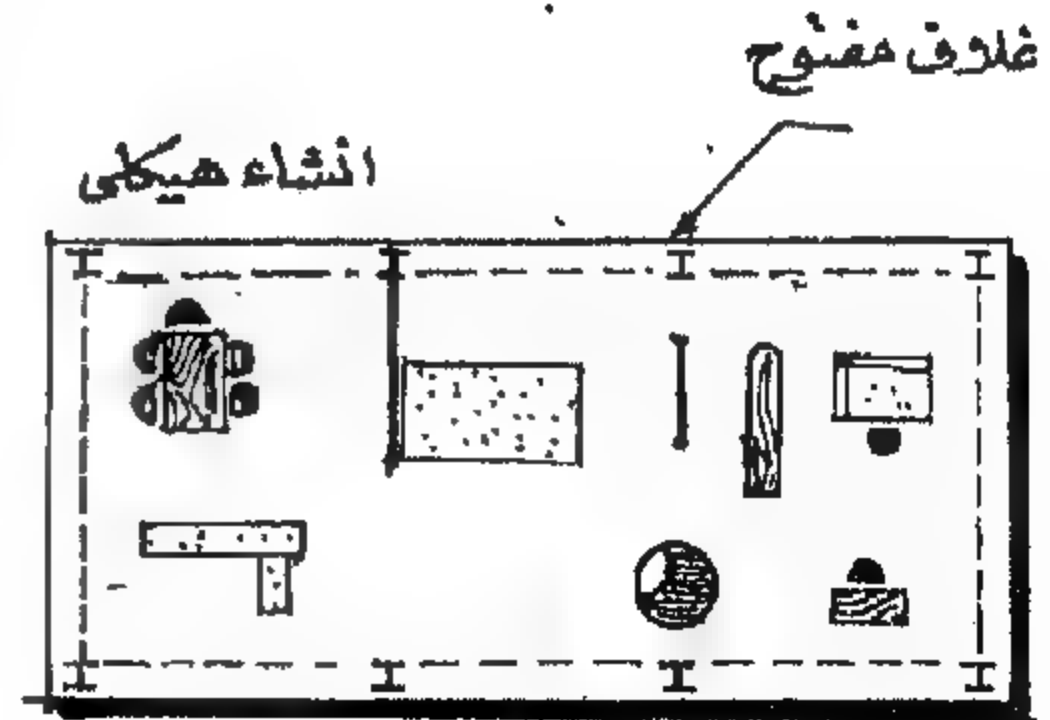
شكل ٢٧٩

فراغات غير مستعملة



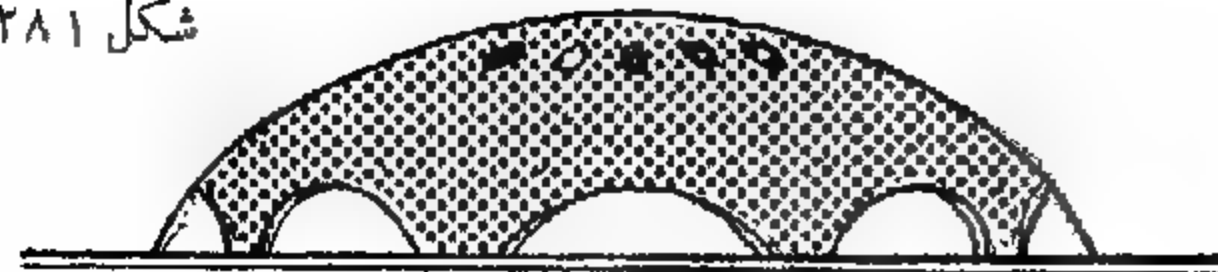
انشاء قشري

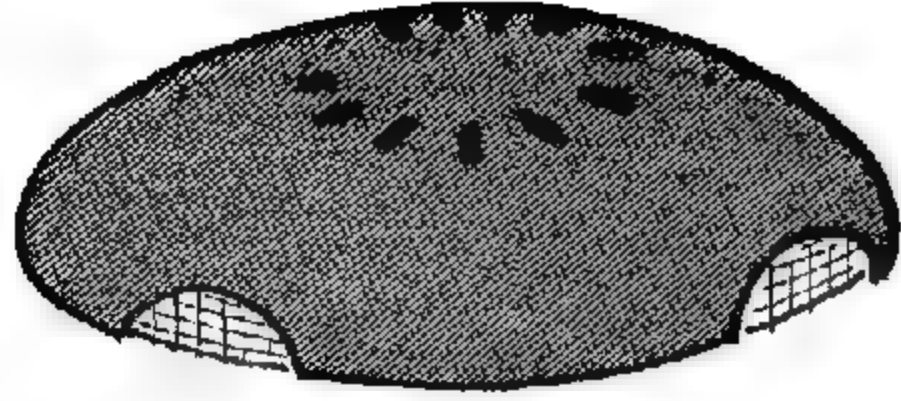
شكل ٢٨٠



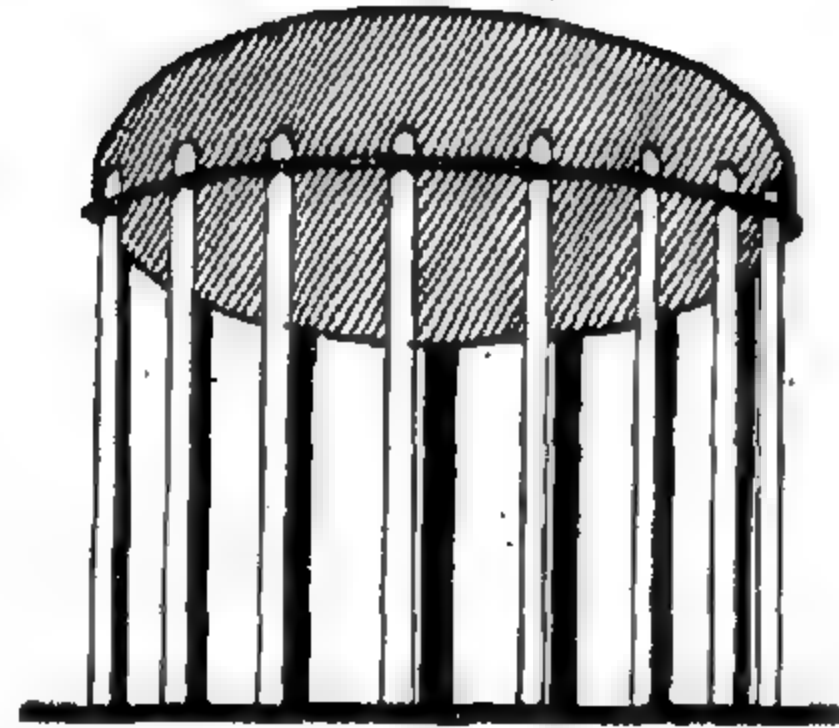
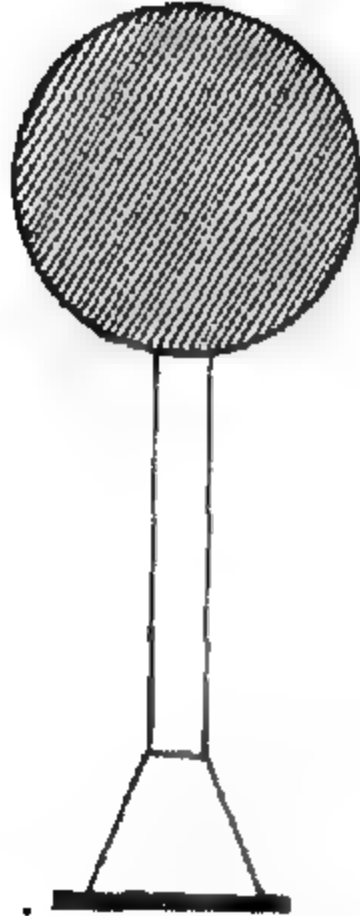
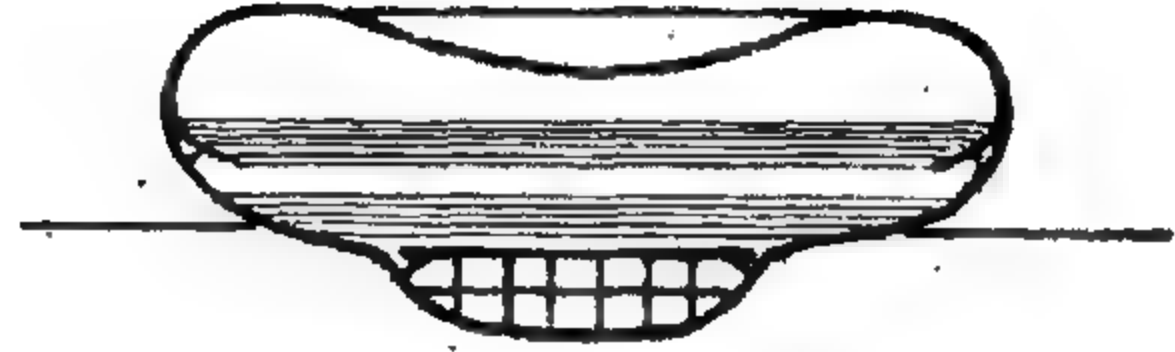
دواخل مرنة محدودة المساحة

شكل ٢٨١





شكل ٢٨٢



شكل ٢٨٣



شكل ٢٨٤

مشاكل الفراغات المعمارية بالأسطح الفعالة

(شكل ٢٨٢) الفلاف الشرقي لفراغات
اجتماعات واسعة .

(شكل ٢٨٣) خزانات بحبوب وسوائل
كروية أو على شكل قطاع ناقص .

(شكل ٢٨٤) صدفات دورانية بقطر ١٥٠
قدما ذات قطاع ناقص لتغطية مرشحات في
محطة مدينة هينج بمسوتا (المعماري تايلر) .

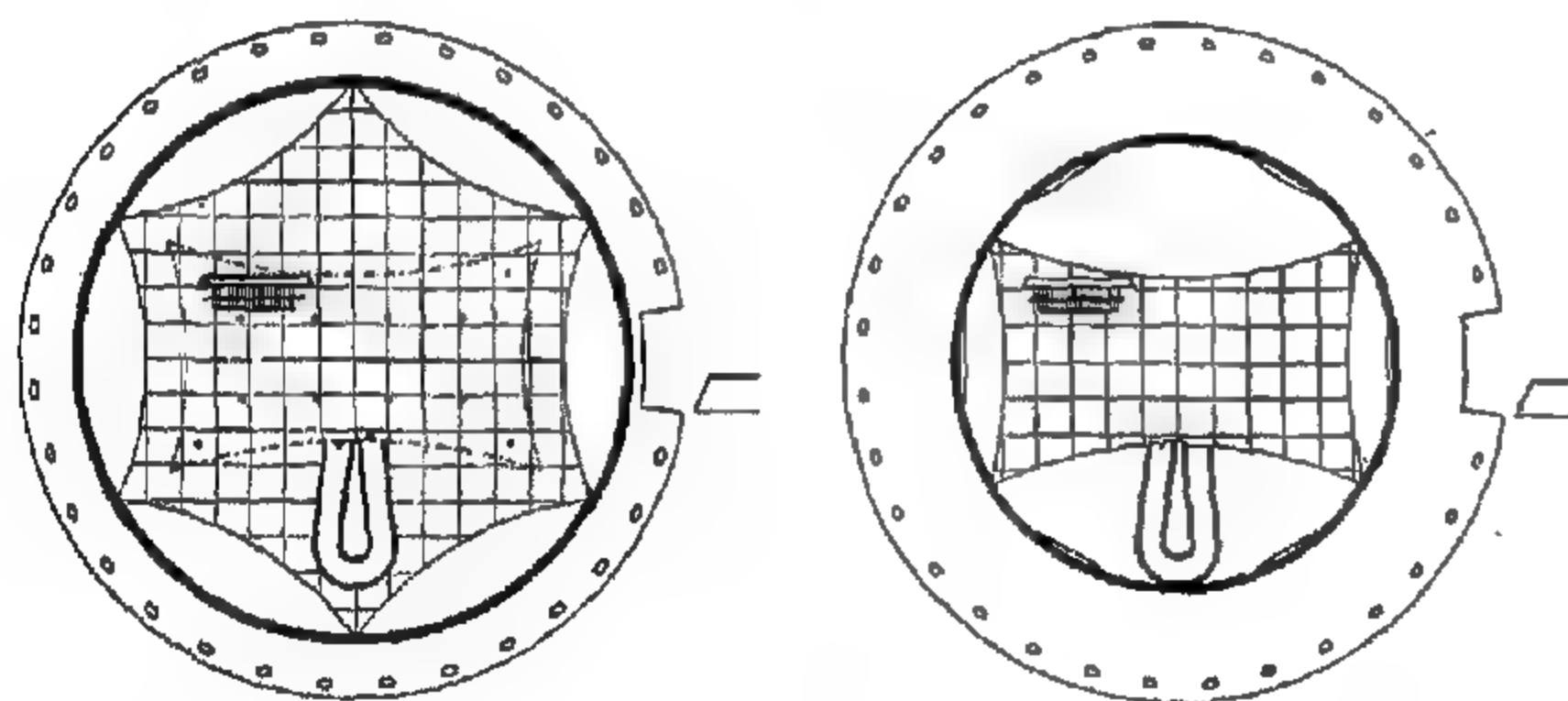


شكل ٢٨٥

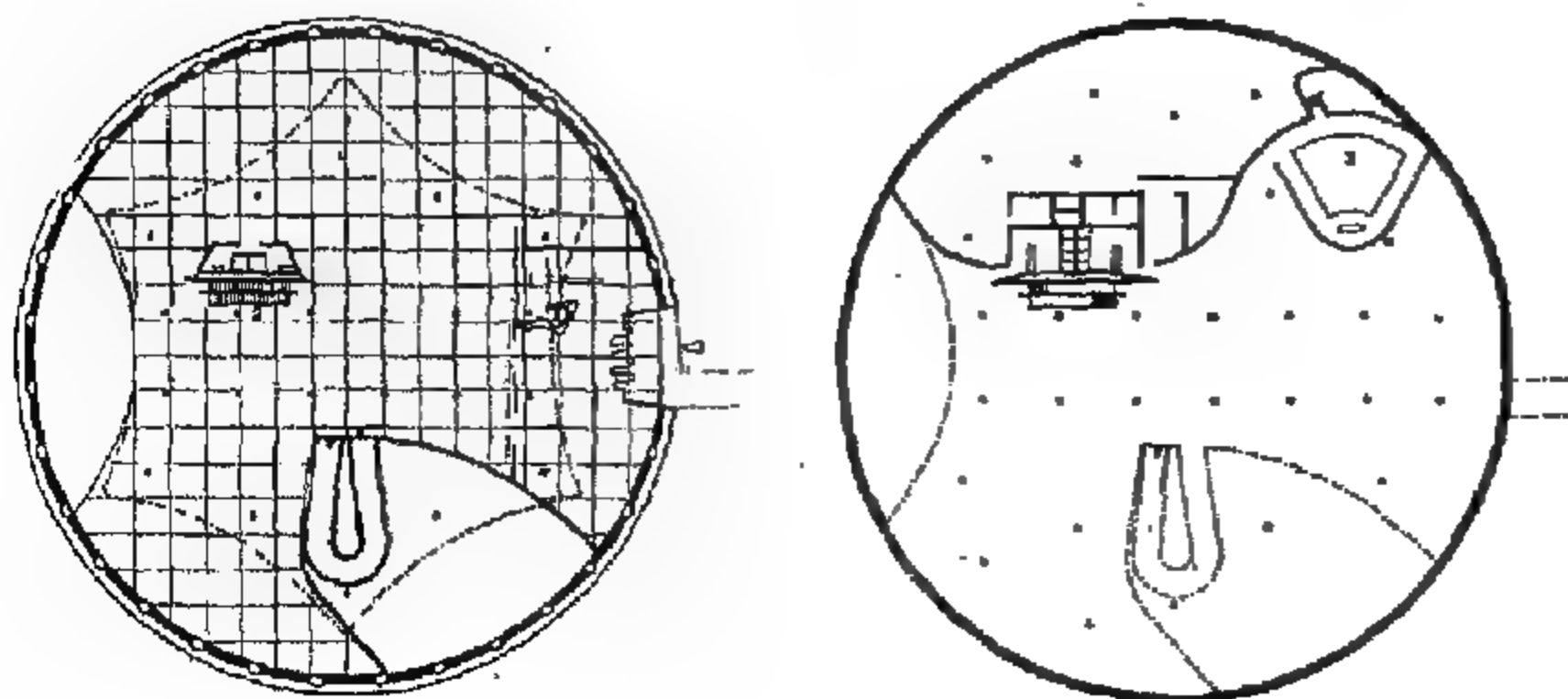


Section 1:2000

شكل ٢٨٦



شكل ٢٨٧



الشكليات الدورانية مزدوجة الانحناء

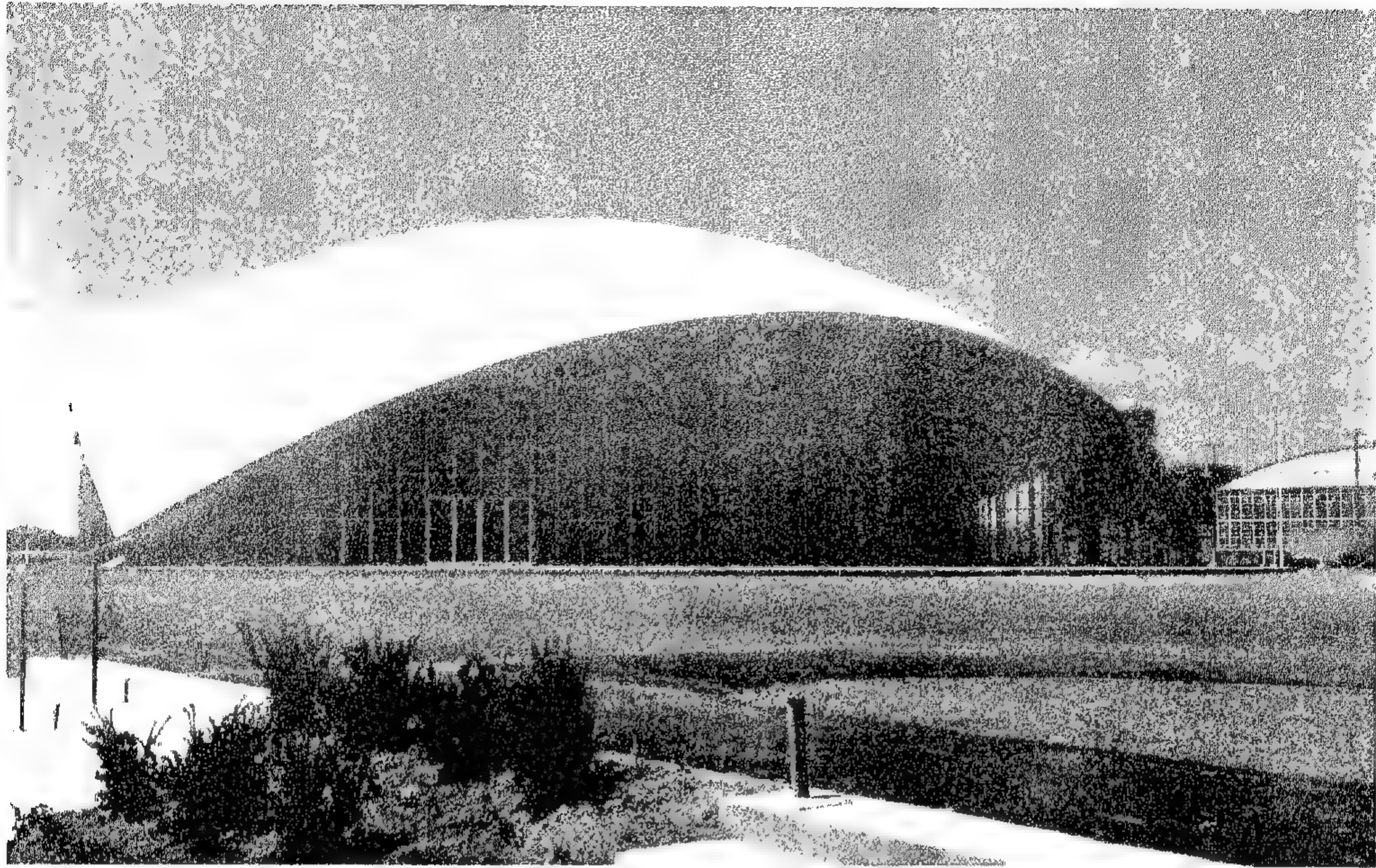
(شكل ٢٨٥) قصر الفنون بسان باولوسنة

١٩٥٤ (المعماري نيمير وآخرون) .

(شكل ٢٨٦) قطاع طولى بالمجموعة .

(شكل ٢٨٧) مساقط معمارية للدور الأرضى

والأول والثانى والثالث .



التكوينات الدورانية مزدوجة الانحناء — القطاعات

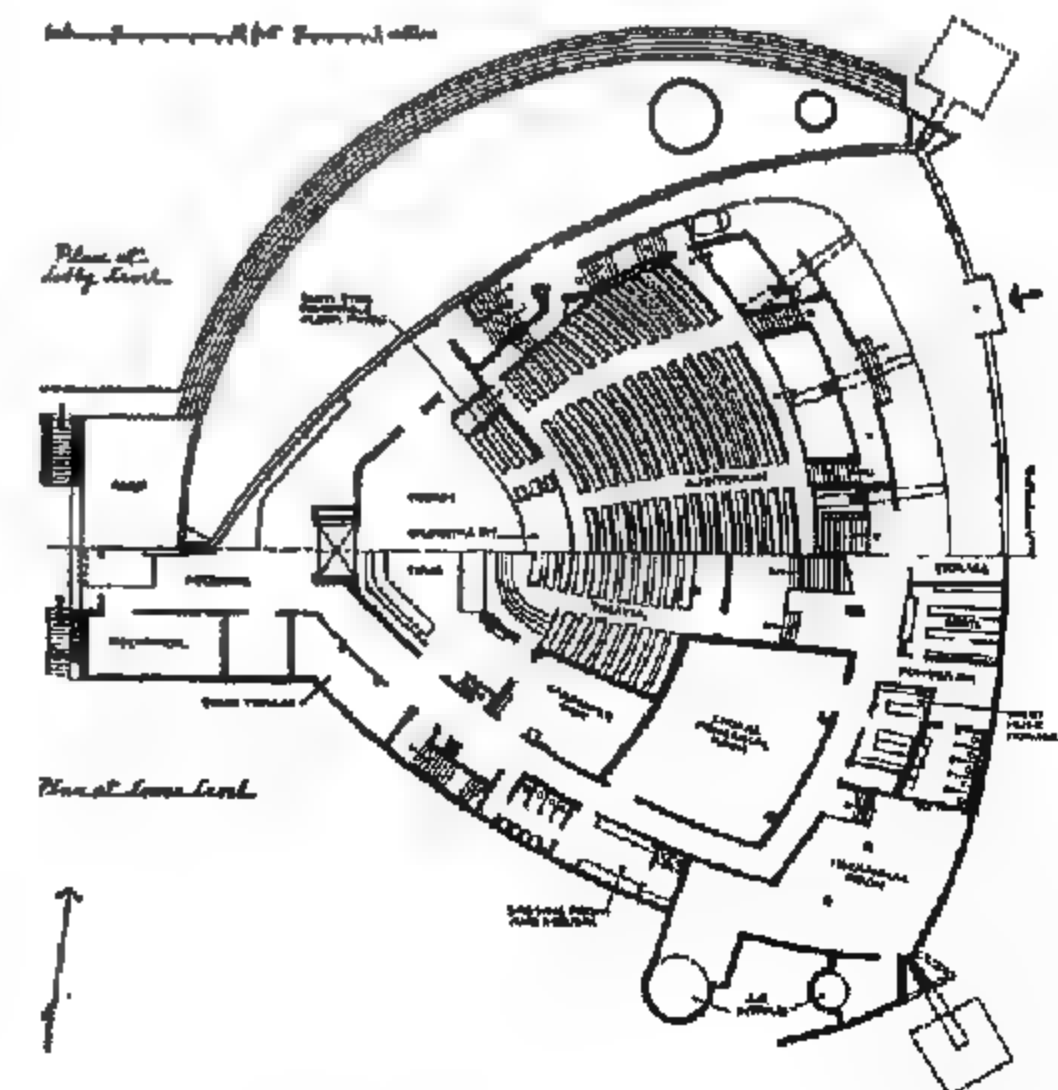
(شكل ٢٨٨) مبنى اجتماعات بمعهد ماستشوستس للتكنولوجيا بكمبريدج

بولاية ماستشوستس (المعماري أيروسارين والإشراف أمانوويتشي).

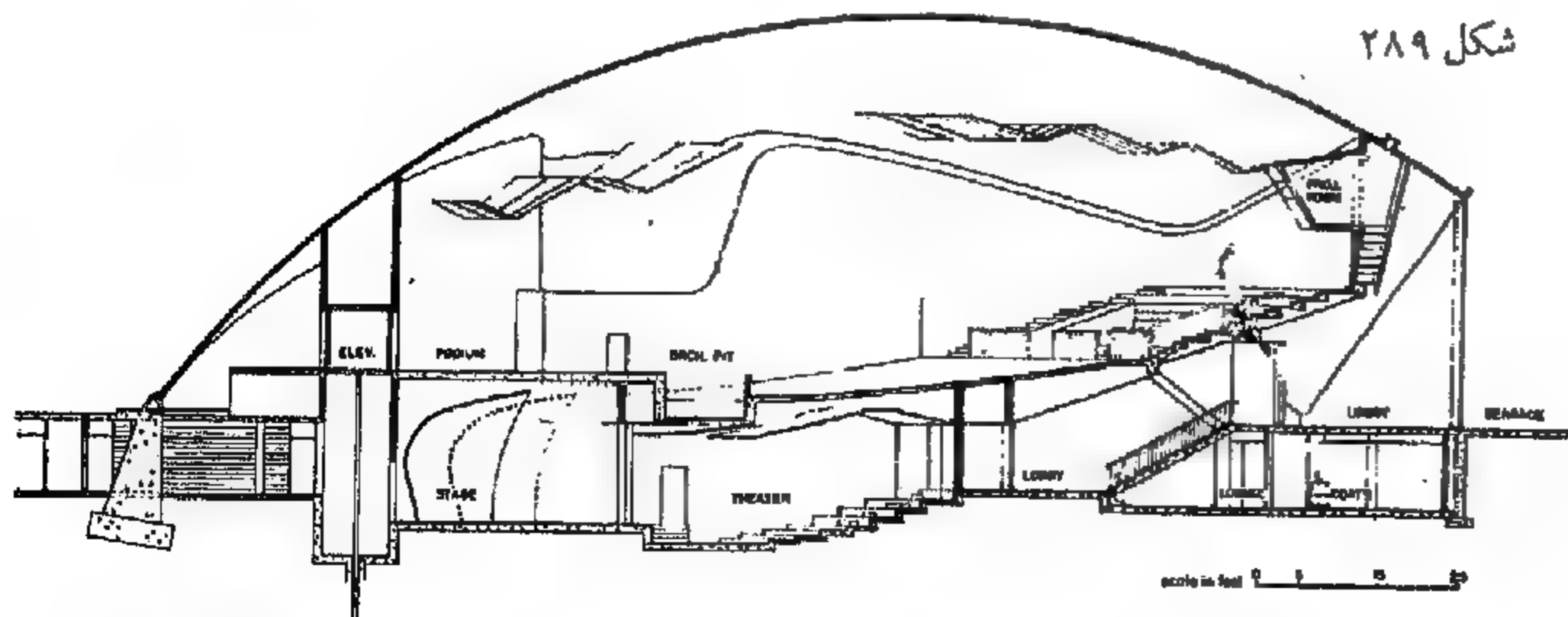
(شكل ٢٨٩) قطاع طول في المبنى

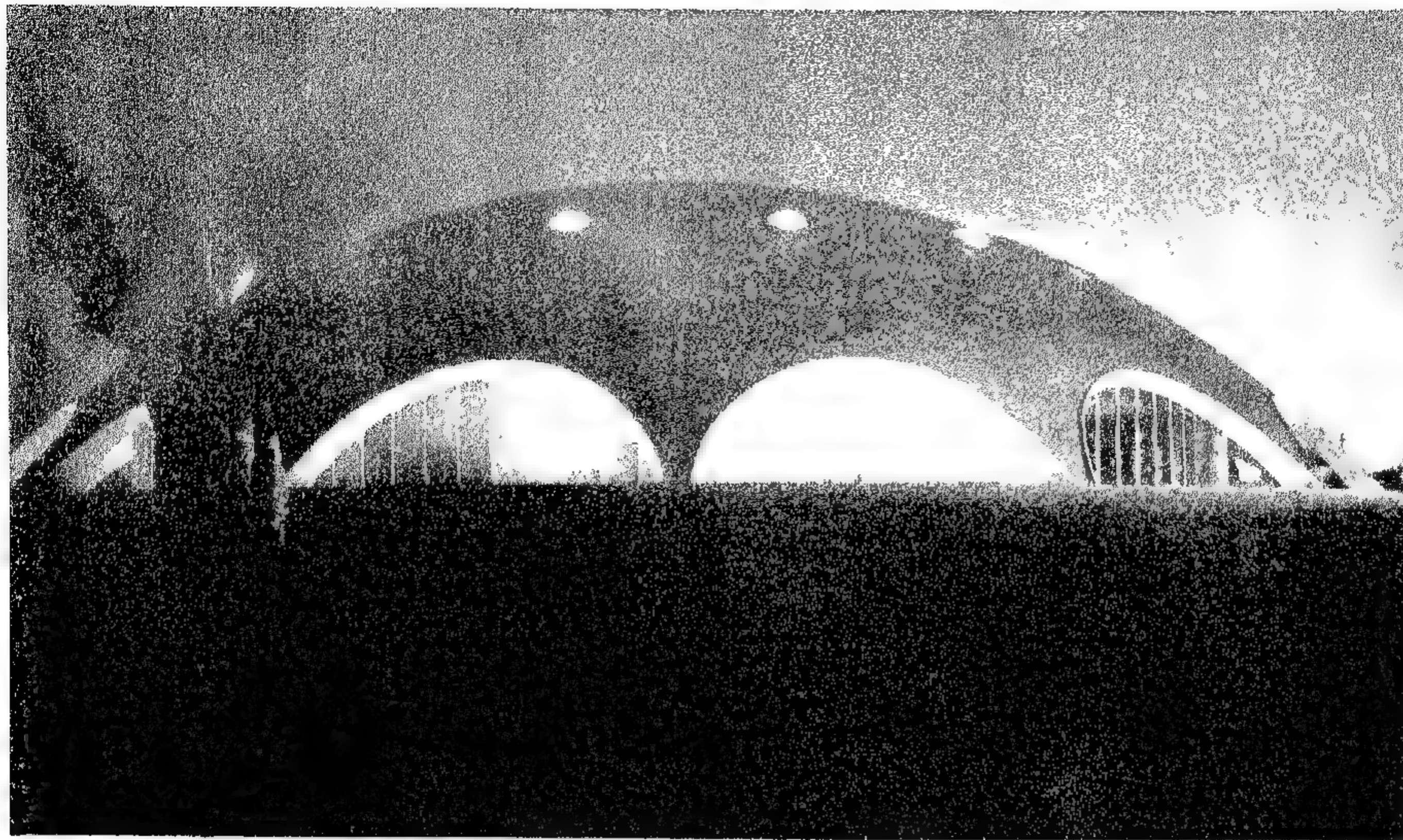
(شكل ٢٩٠) مسقط أفق.

شكل ٢٩٠



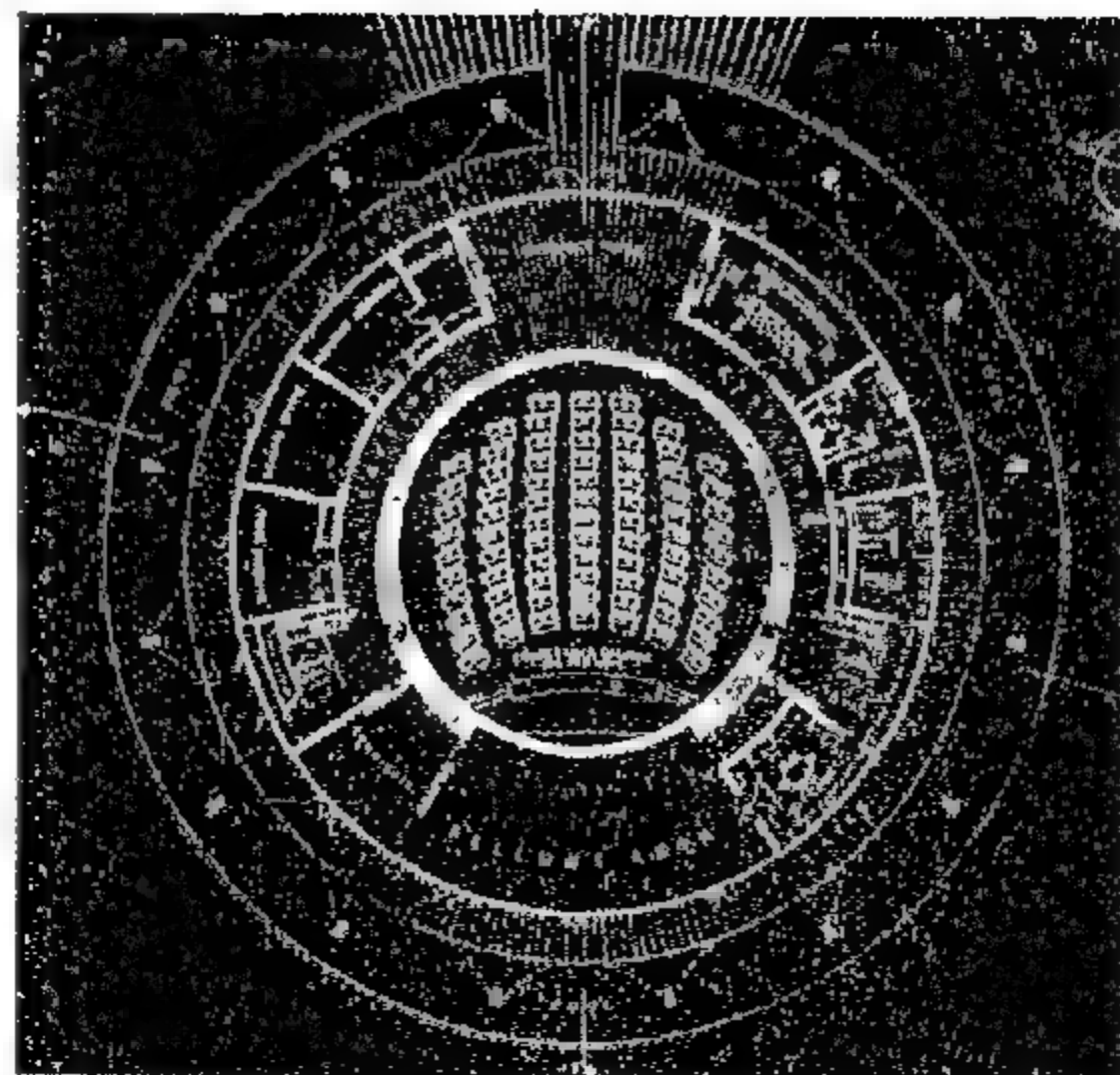
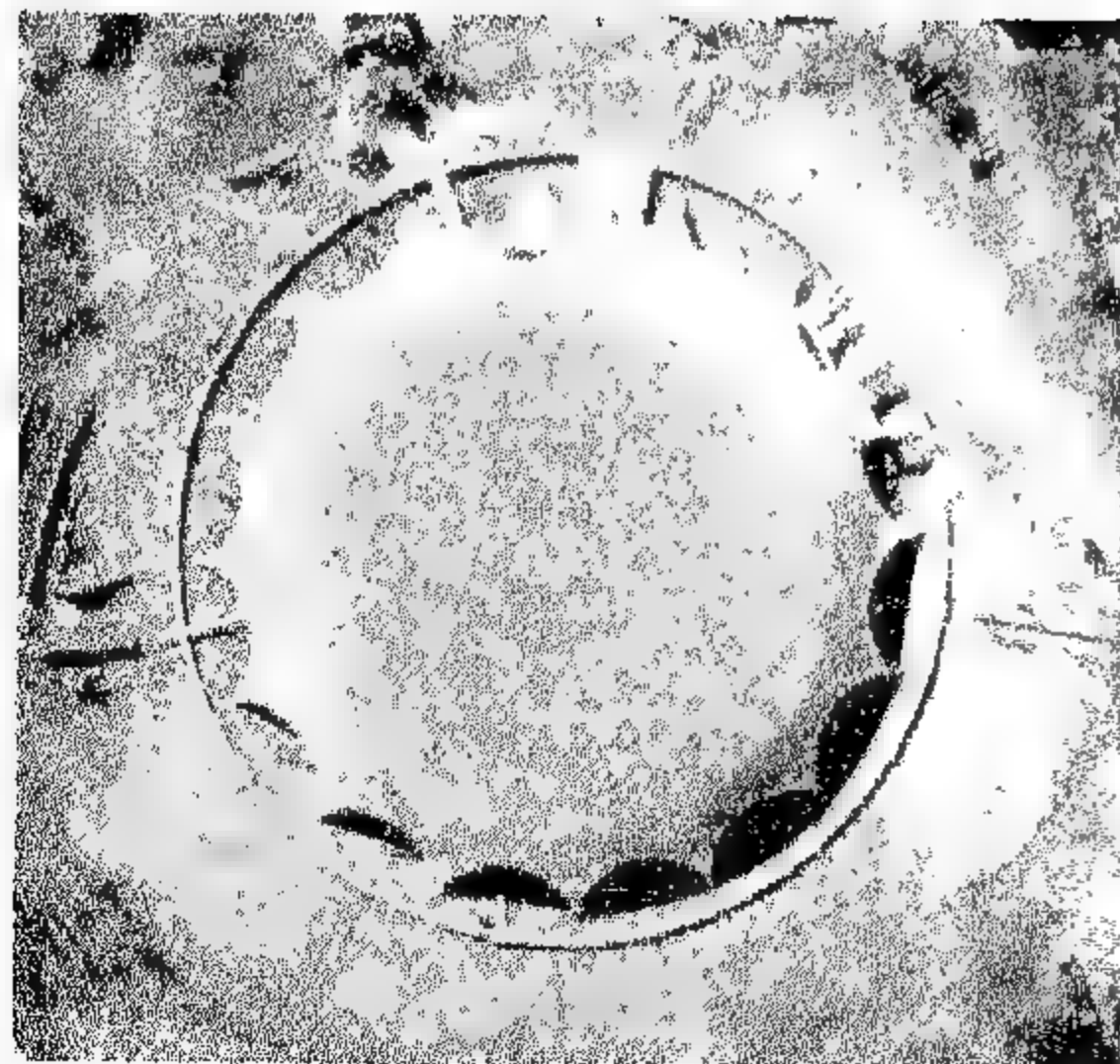
شكل ٢٨٩





شكل ٢٩١

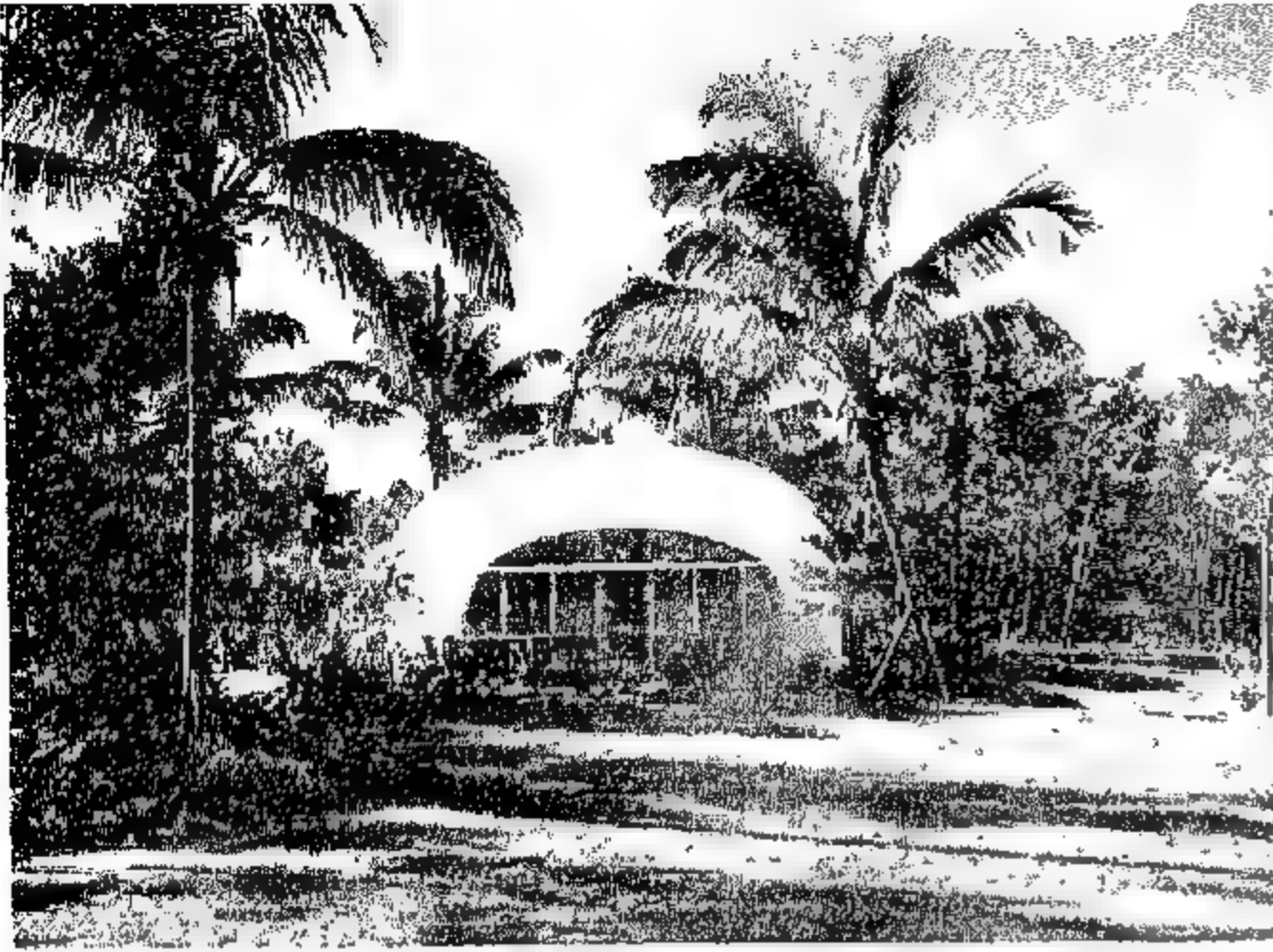
شكل ٢٩٢



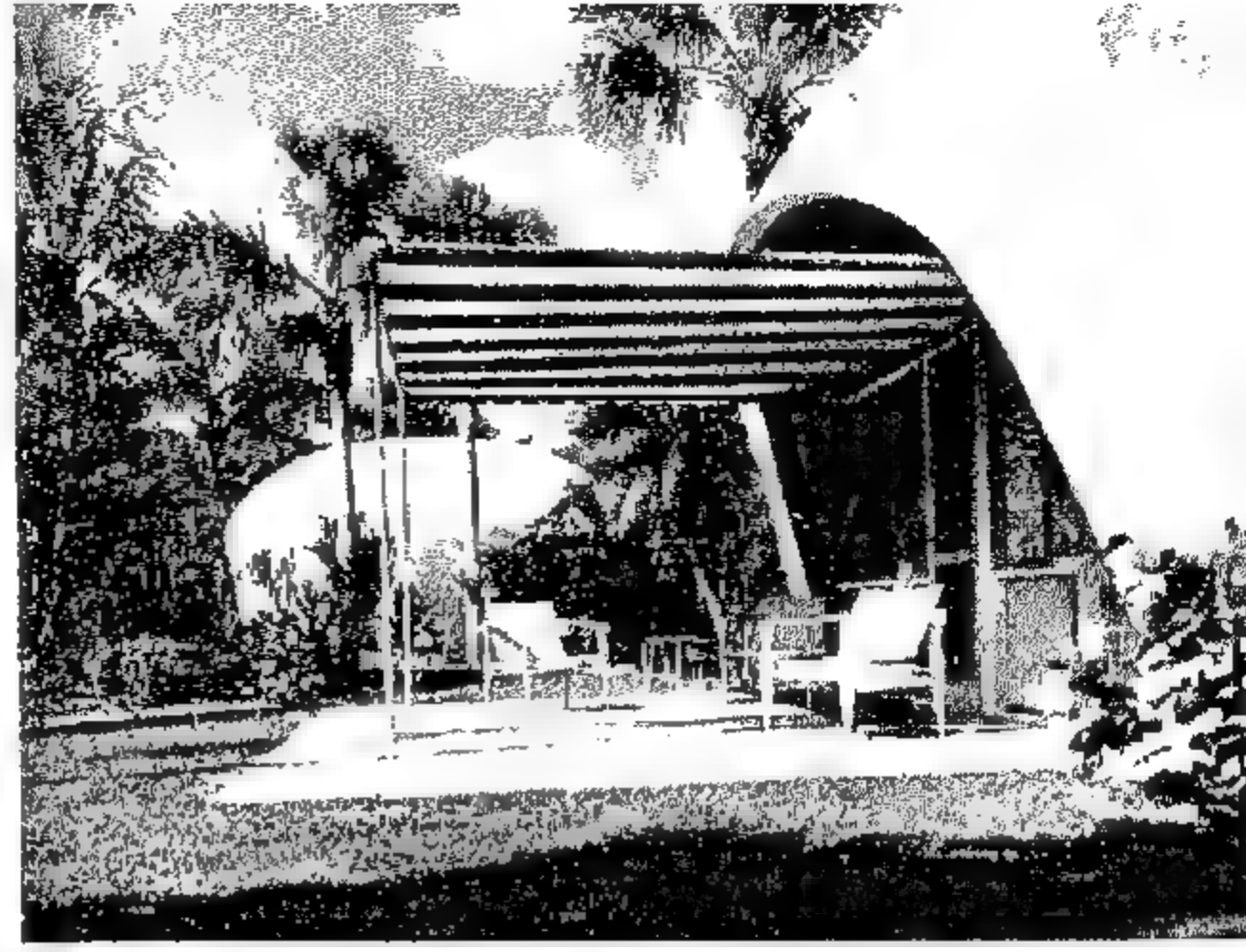
التكوينات الدورانية مزدوجة الانحناء - القطاعات

(شكل ٢٩١) مبنى أكاديمية العلوم بكافبرا
بأستراليا (المعماريون جرونلز ورومبيرج
وبويد)
(شكل ٢٩٢) مسقط وموقع عام .

شكل ٢٩٣



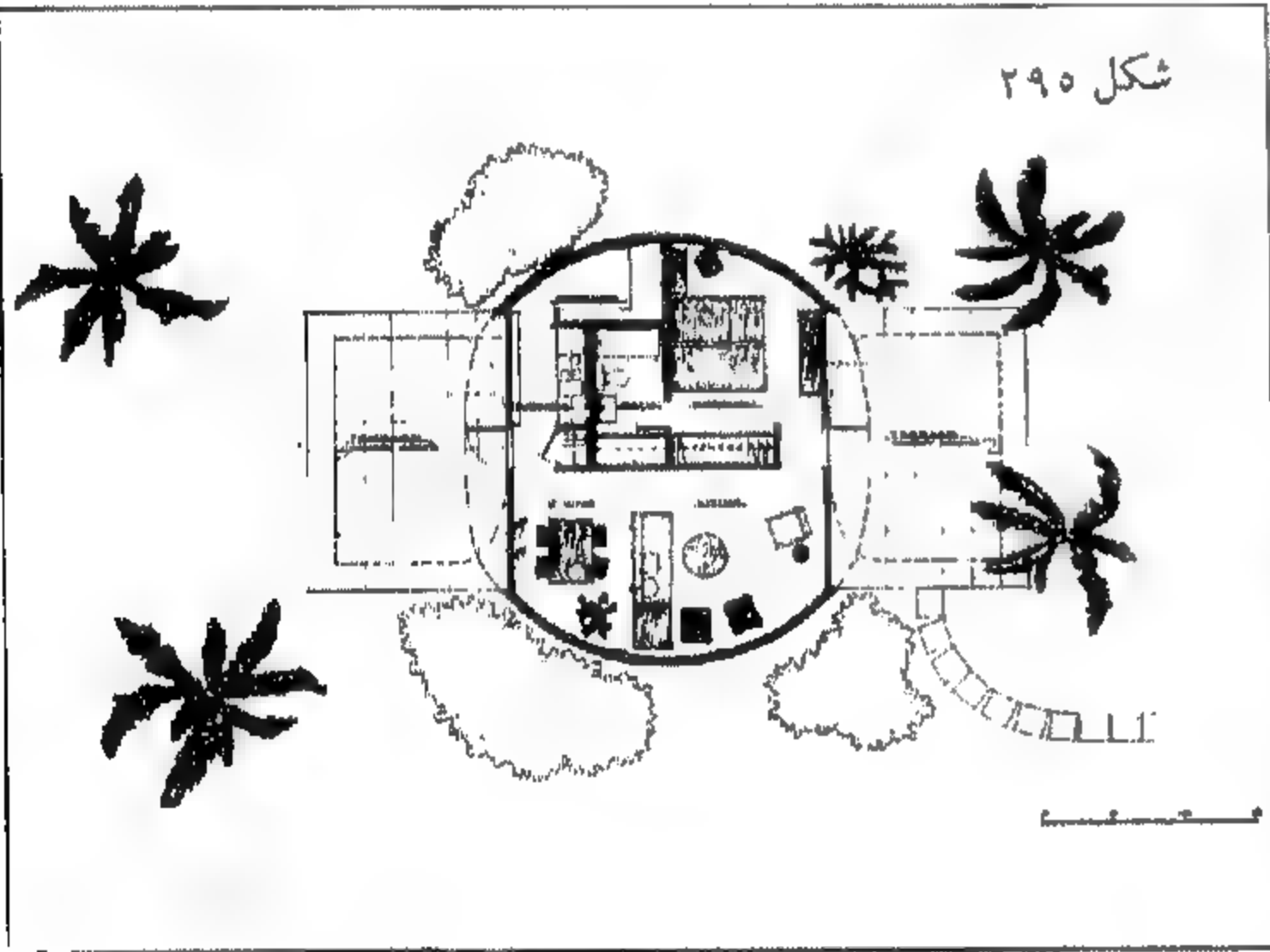
شكل ٢٩٤



شكل ٢٩٦



شكل ٢٩٥



شكل ٢٩٧



التكوينات الدورانية مزدوجة الانحناء — القطاعات

(شكل ٢٩٣ و ٢٩٤) منازل بقطر ٣٠ قدماً في هوب ساوند بفلوريدا

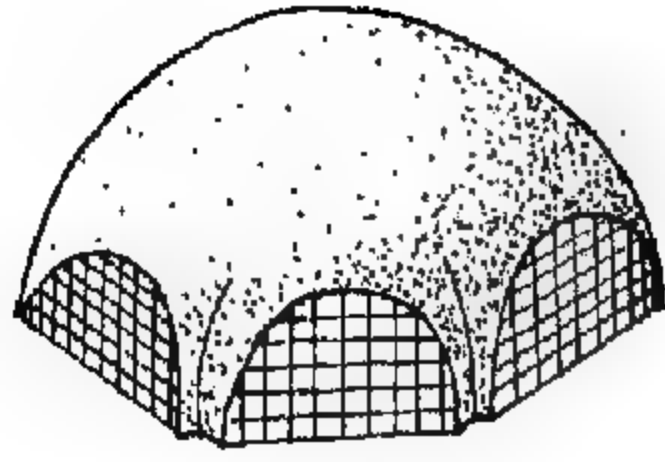
سنة ١٩٦٤ (المهندس المعماري اليوت نوز) .

(شكل ٢٩٥) مسقط لمنزل هوب ساوند .

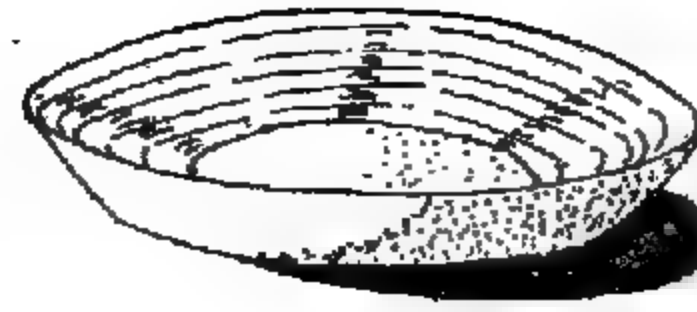
(شكل ٢٩٦) مشروع لمدرسة (المهندس المعماري اليوت نوز)

(شكل ٢٩٧) معبد بيت شولوم في ميامي بفلوريدا (المعماري بوسيفال

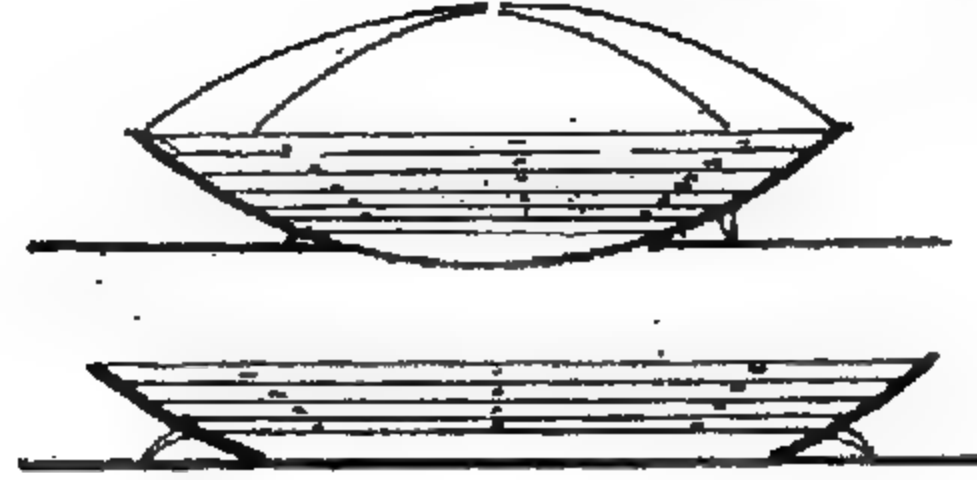
جودمان والإنشائيون أمان وويتني)



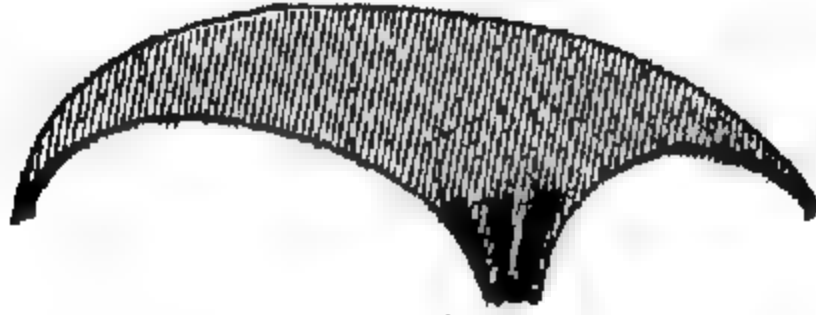
شكل ٢٩٨



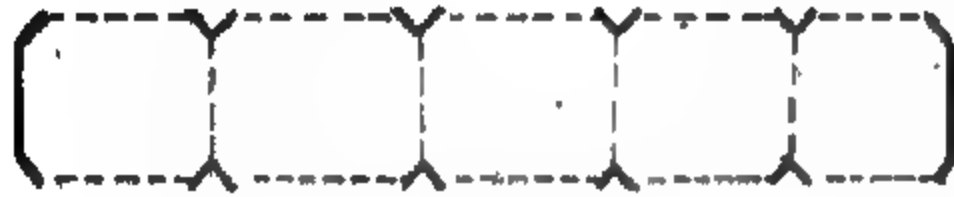
شكل ٢٩٩



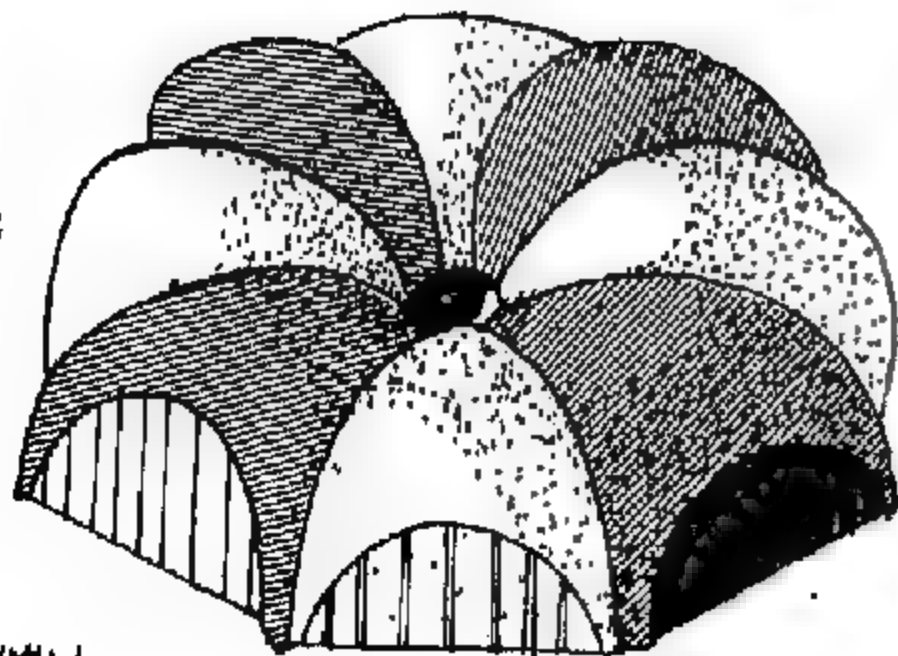
شكل ٣٠٠



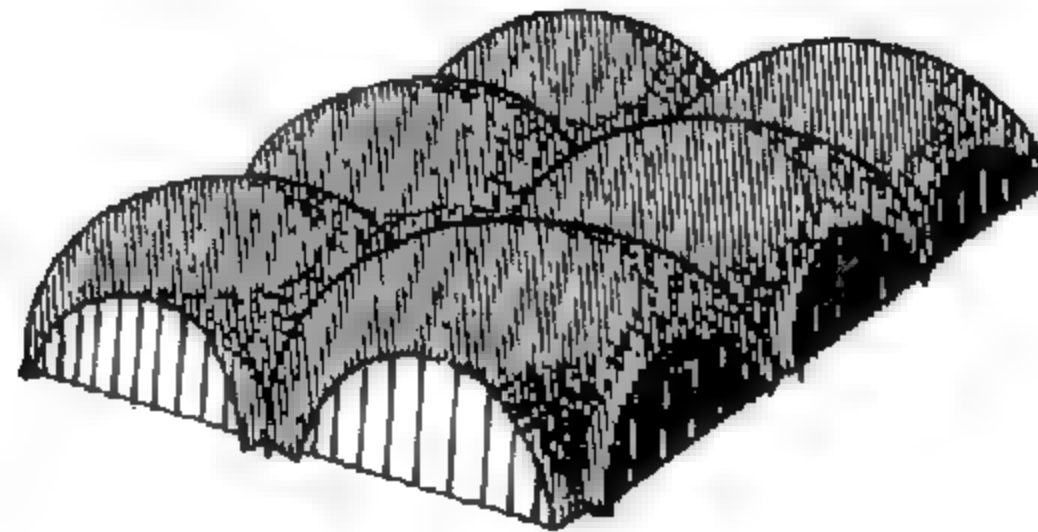
شكل ٣٠١



شكل ٣٠٢



شكل ٣٣٧



التكوينات الدورانية مزدوجة الانحناء القطاعات والتجميعات

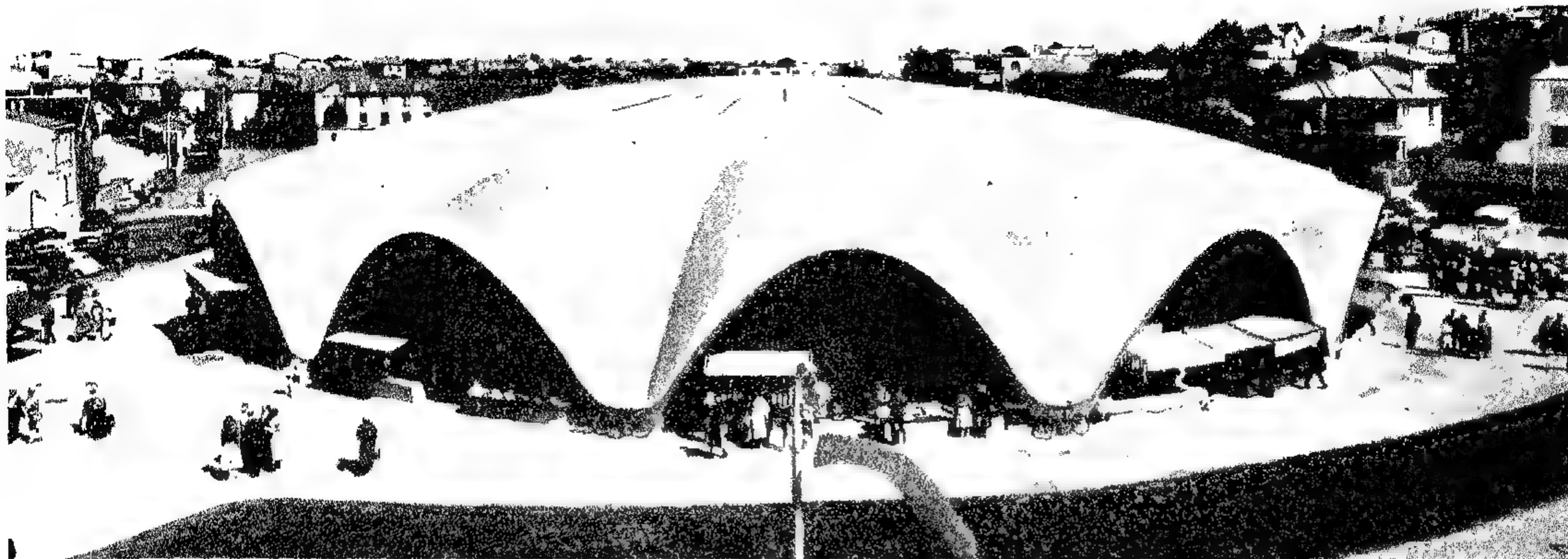
(شكل ٢٩٨) قبة بقطاعات لتغطية مساحات
مضلعة .

(شكل ٢٩٩) قباب مقلوبة كاملة ومقطوعة
الأسناد المكشوف .

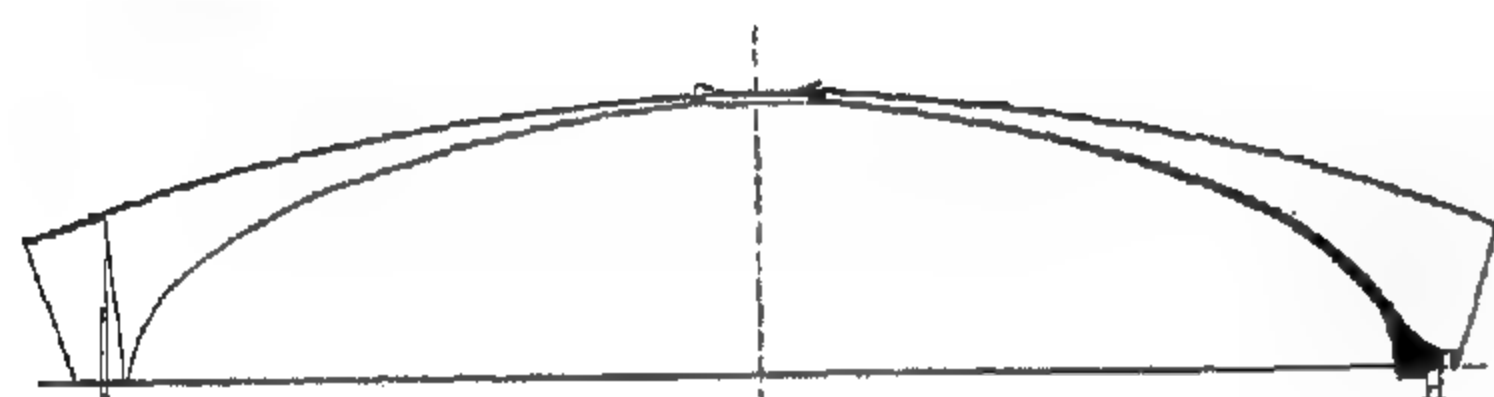
(شكل ٣٠٠) سقف قشري دوراني بقطاعات
مع تقوية الأركان .

(شكل ٣٠١) تجميعات على باكيات مربعة
متكررة .

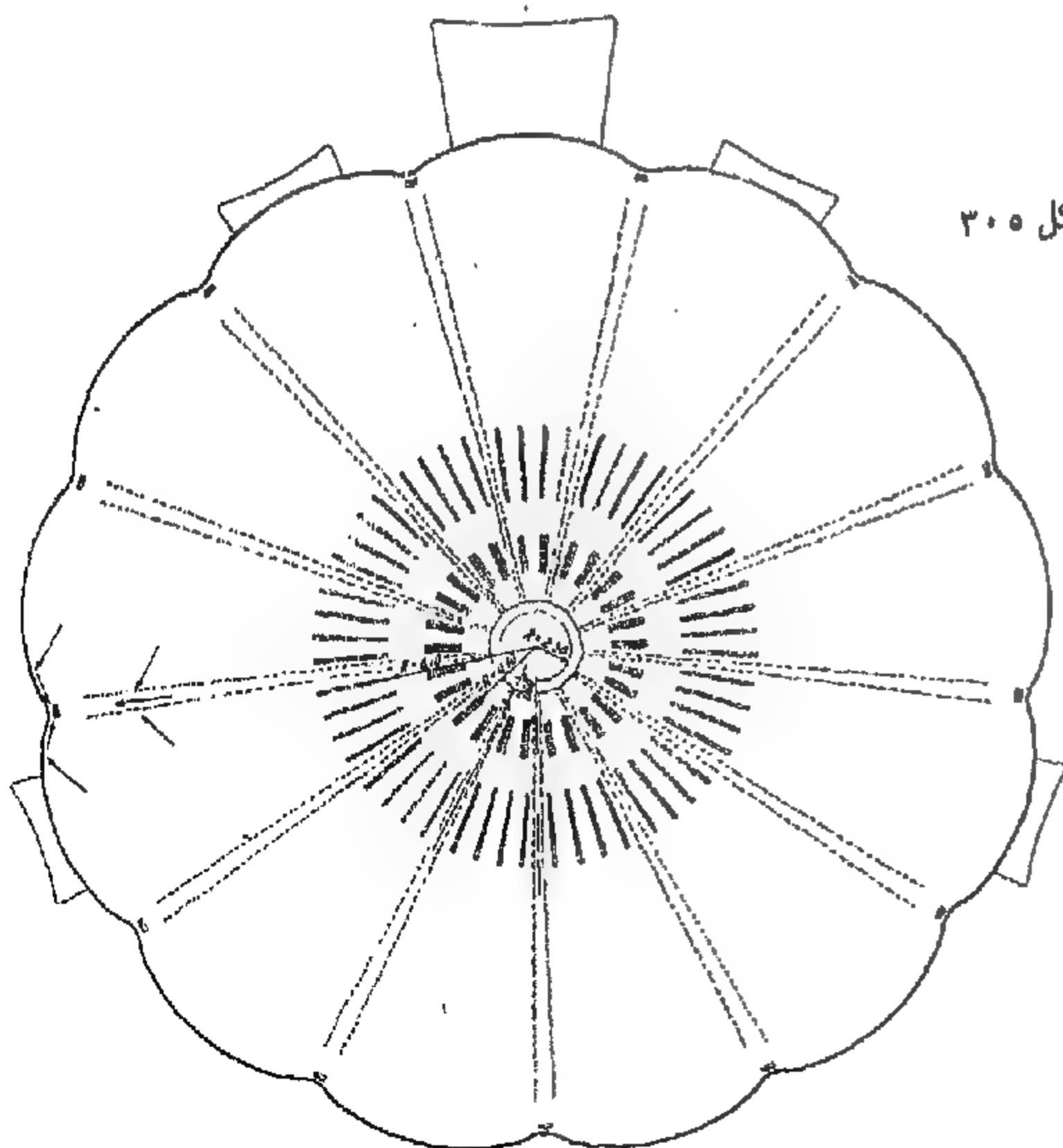
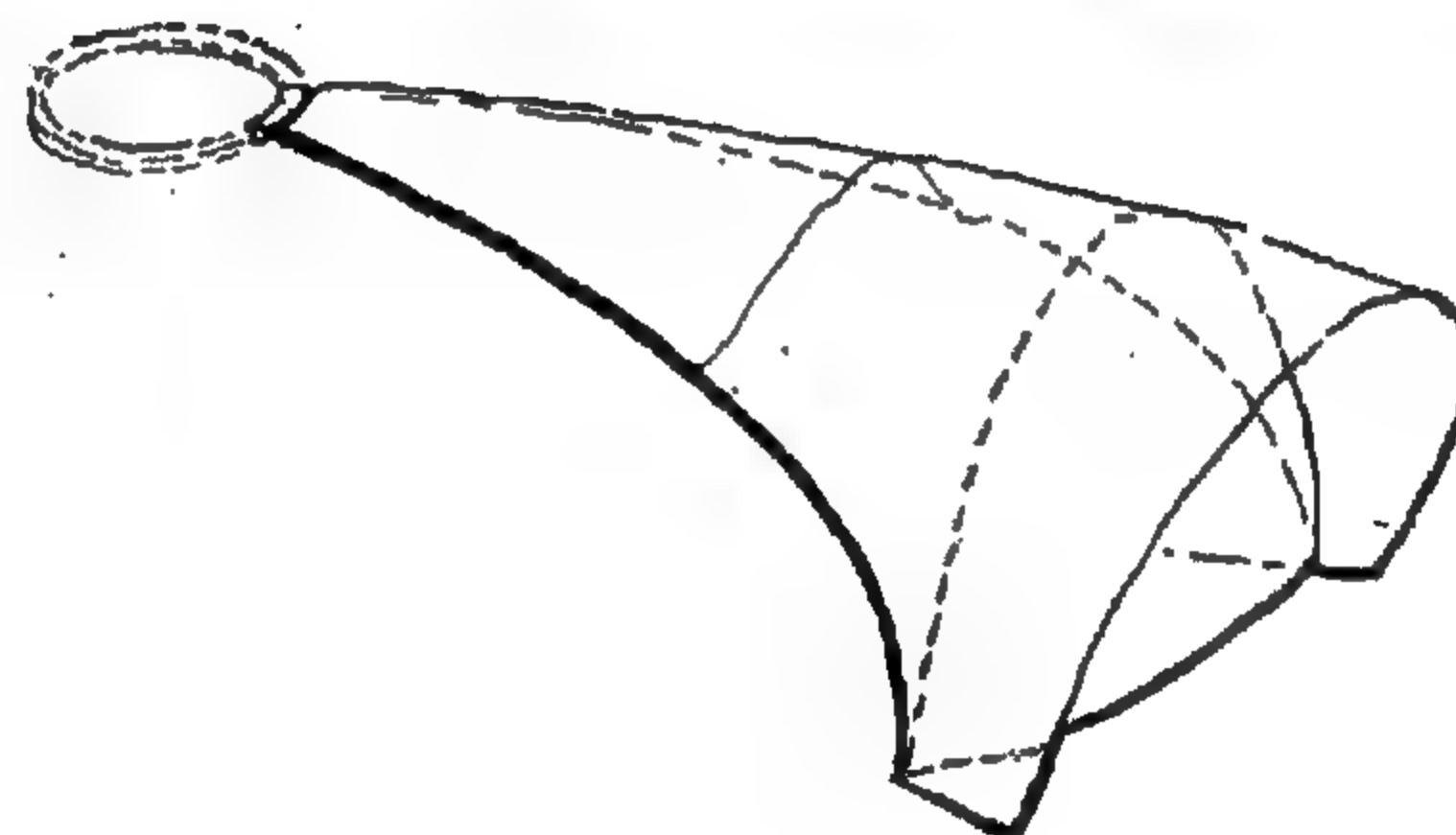
(شكل ٣٠٢) تجميعات على مساحات متعددة
الأضلاع .



شكل ٣٠٣



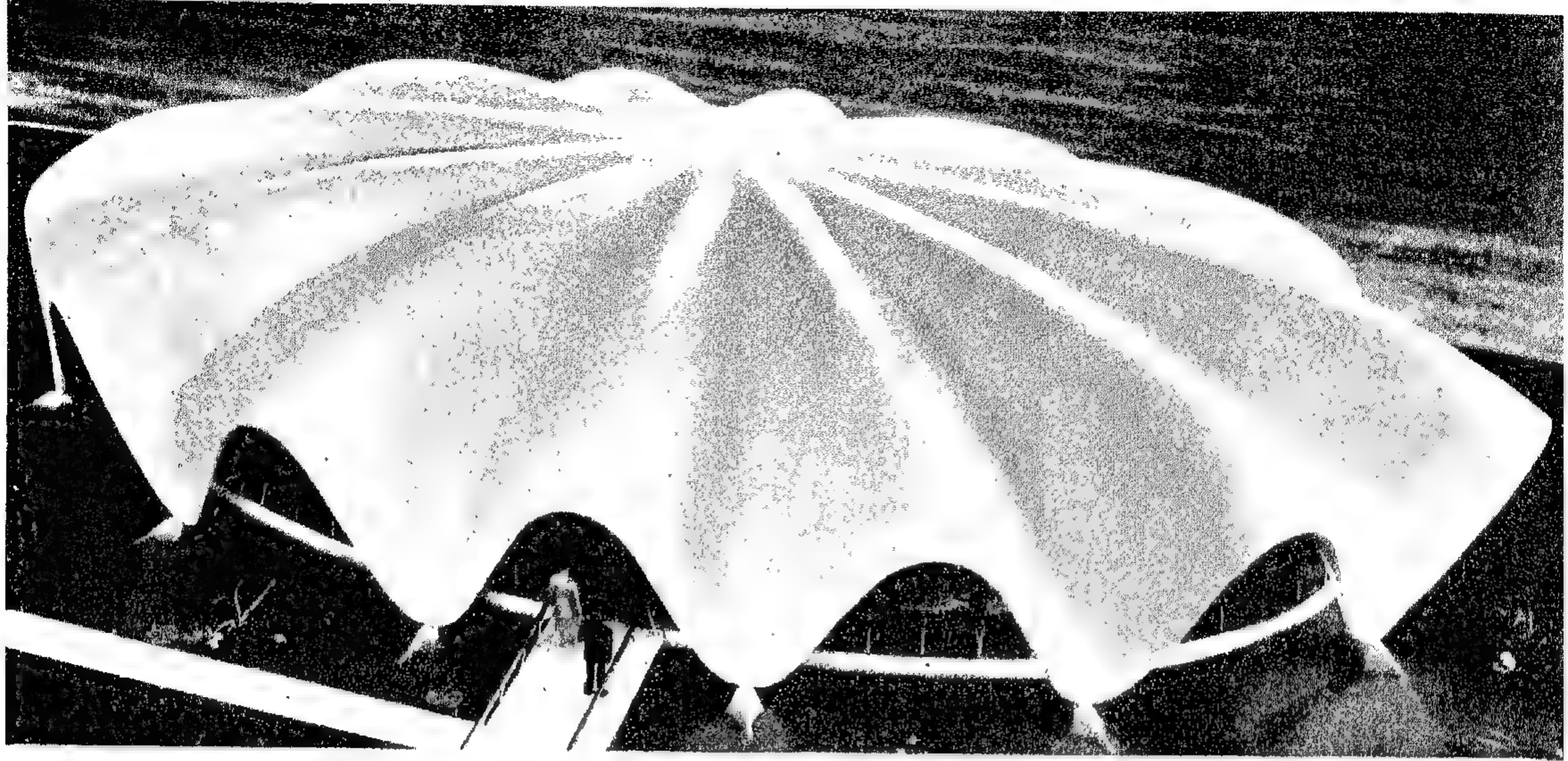
شكل ٣٠٤



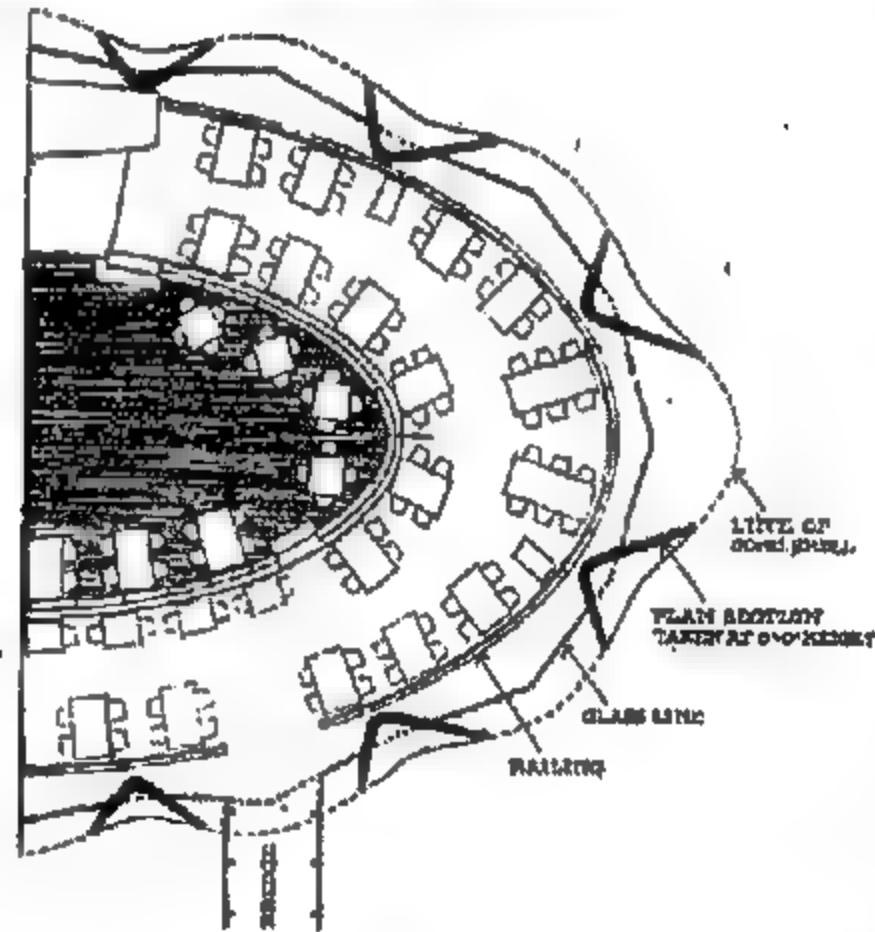
شكل ٣٠٥

التكوينات مزدوجة الإنحناء - تجميعات وحدات

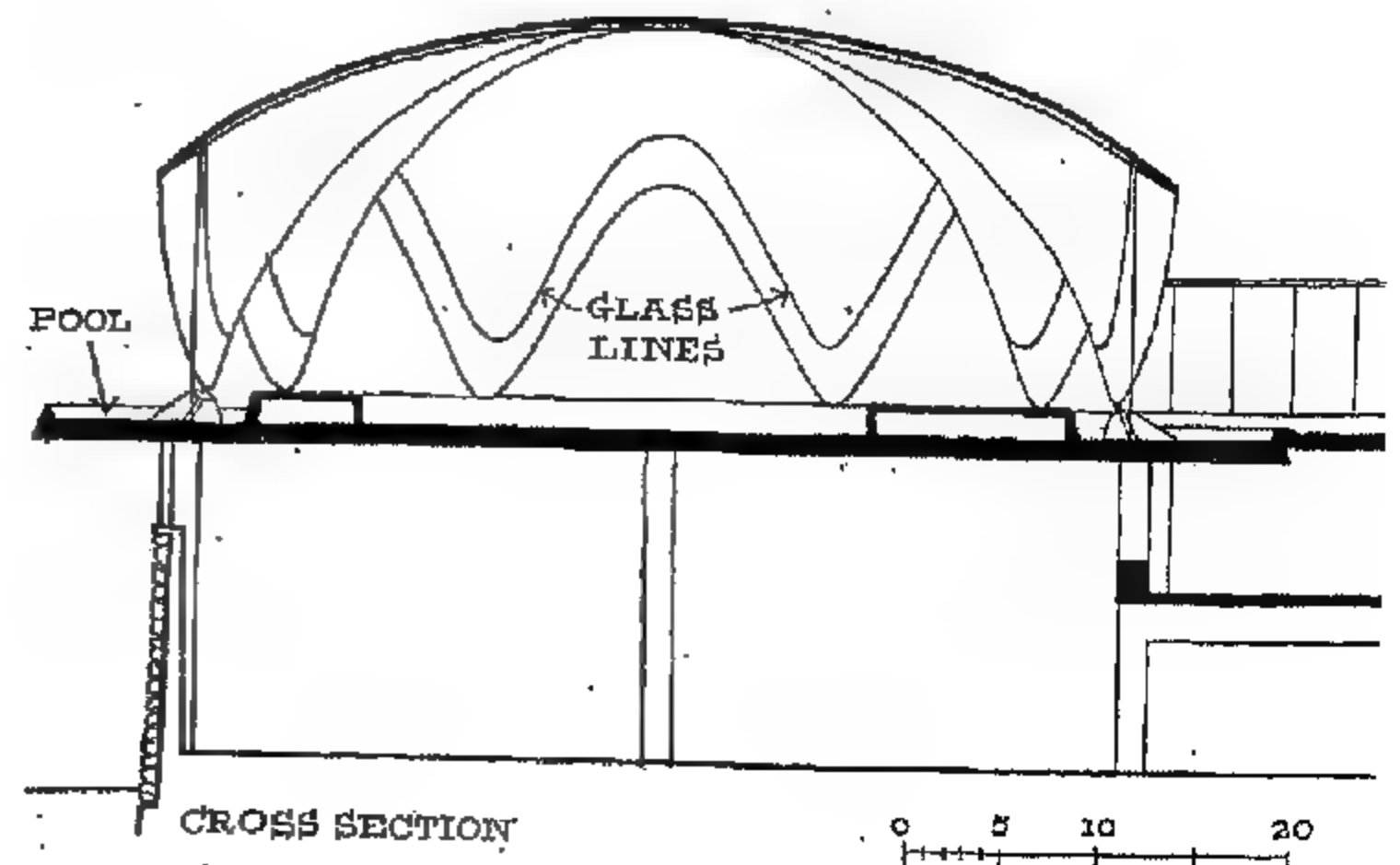
صالة سوق رويان - بفرنسا
(شكل ٣٠٣) صالة السوق من ثلاث عشرة وحدة مزدوجة
الإنحناء على مسقط دائري بقطر ١٧٢ قدما .
(شكل ٣٠٤) قطاع بالصالة وتفصيله لإحدى الوحدات .
(شكل ٣٠٥) مسقط أفق للسقف .



شكل ٣٠٦



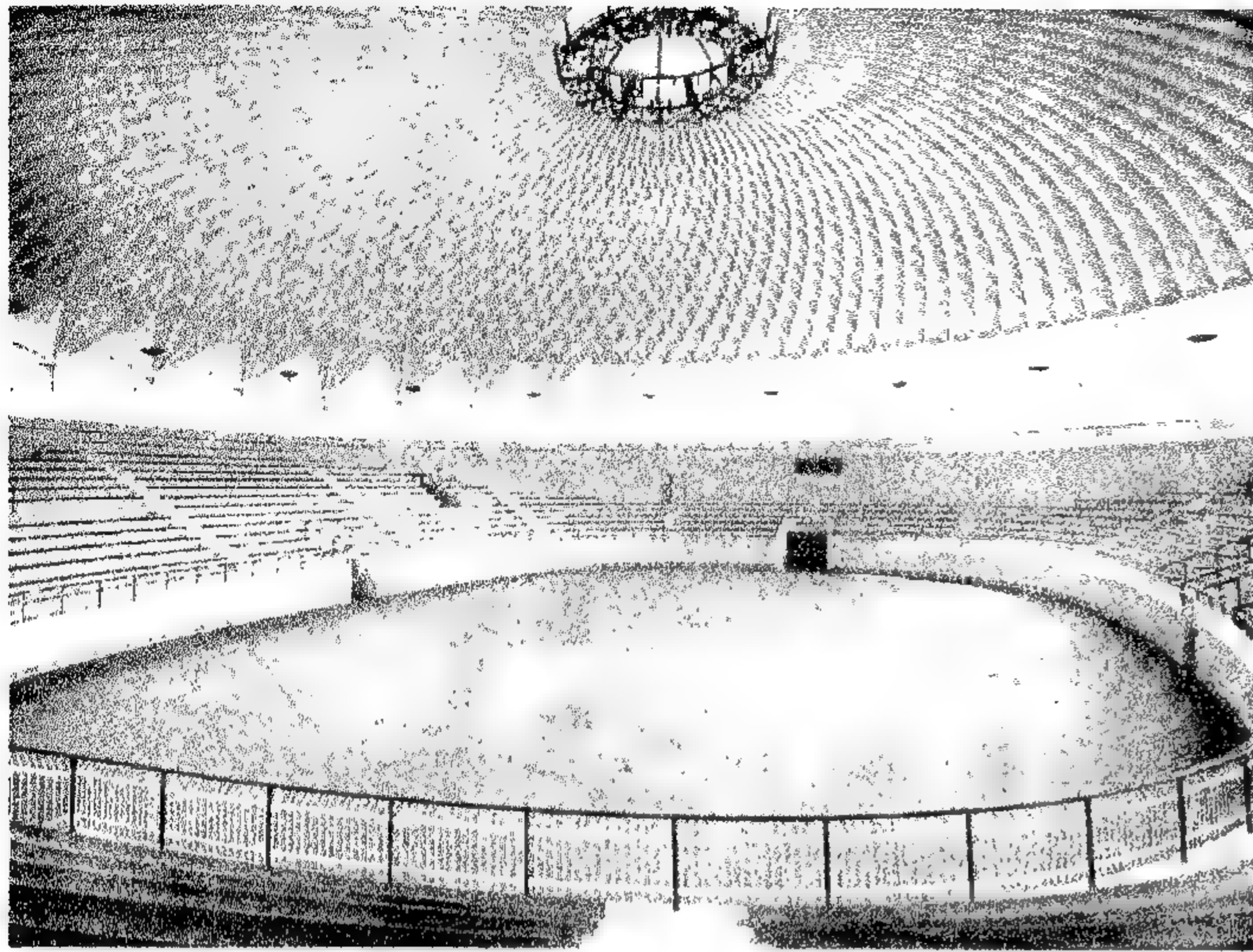
شكل ٣٠٧



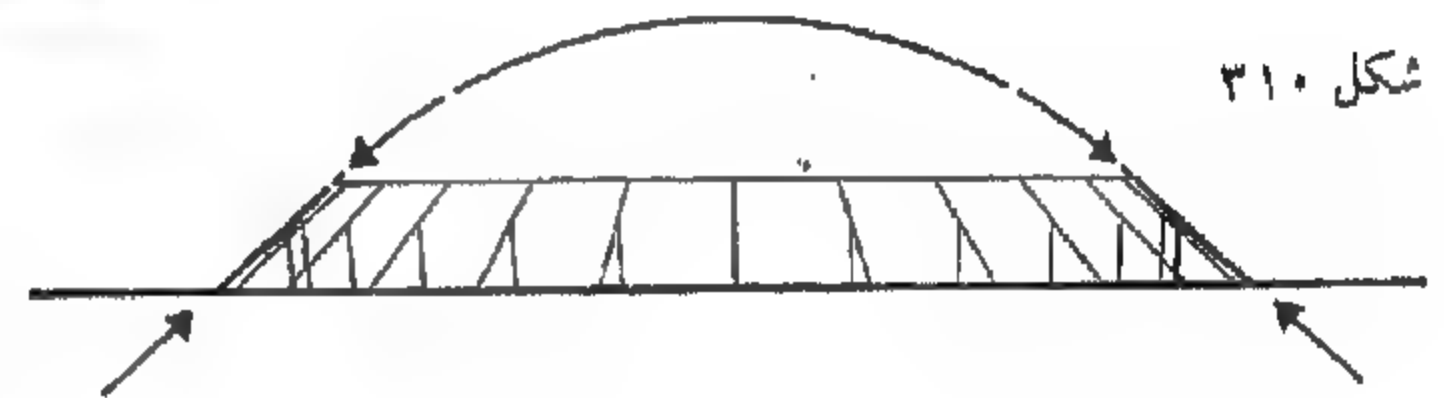
شكل ٣٠٨

التكوينات مزدوجة الانحناء الموجبة

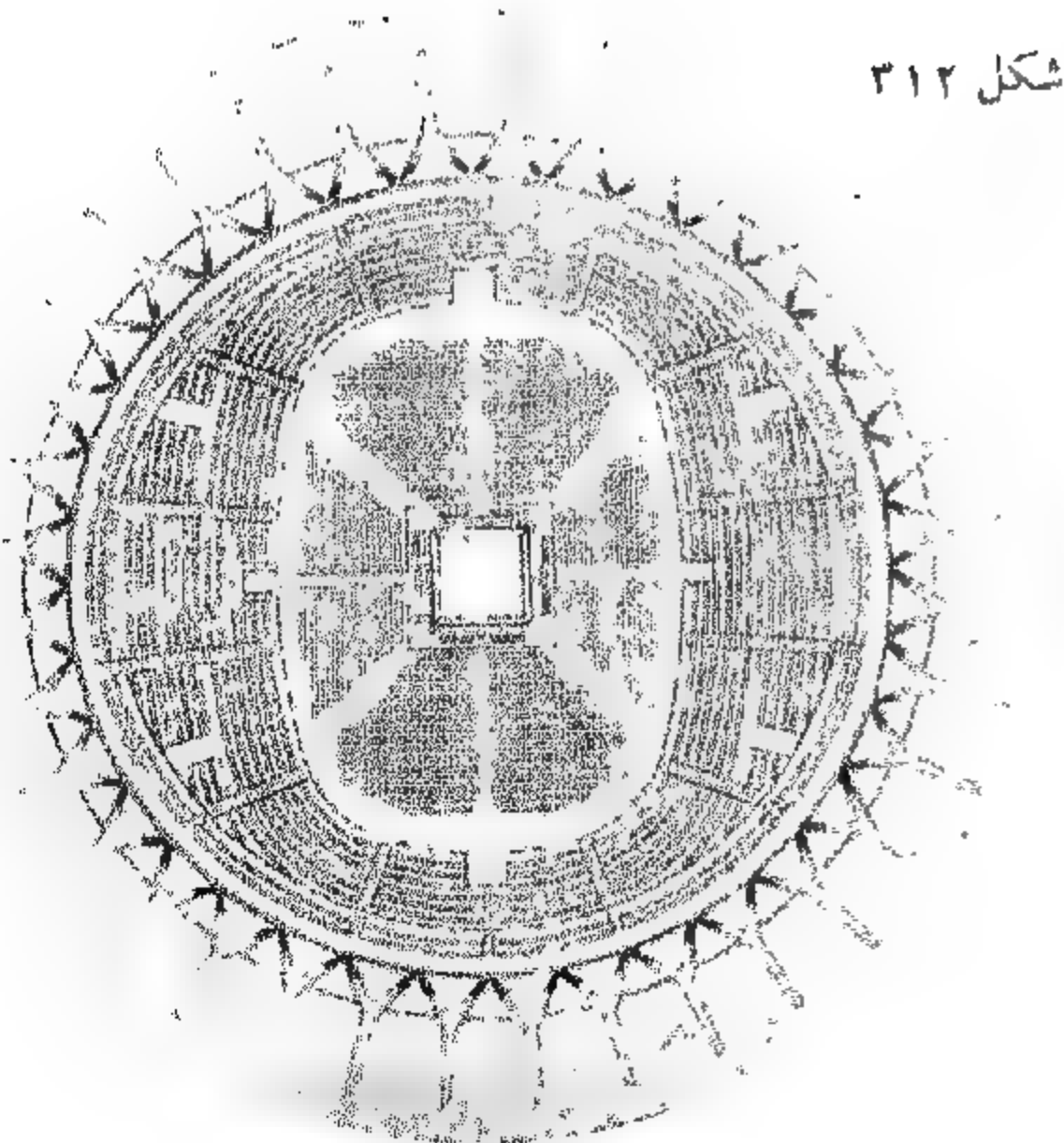
نادى المشاء في لوكاندة لوكونشا في سانتورس بيورتوريكو
(شكل ٣٠٦) الصلدة الموجبة من تصميم الممارين
(تورو وفيرر ووارنر والإنشائيين سلفادوري وويدلنجر)
(شكل ٣٠٧) مسقط نصف للصالة .
(شكل ٣٠٨) قطاع عرضي .



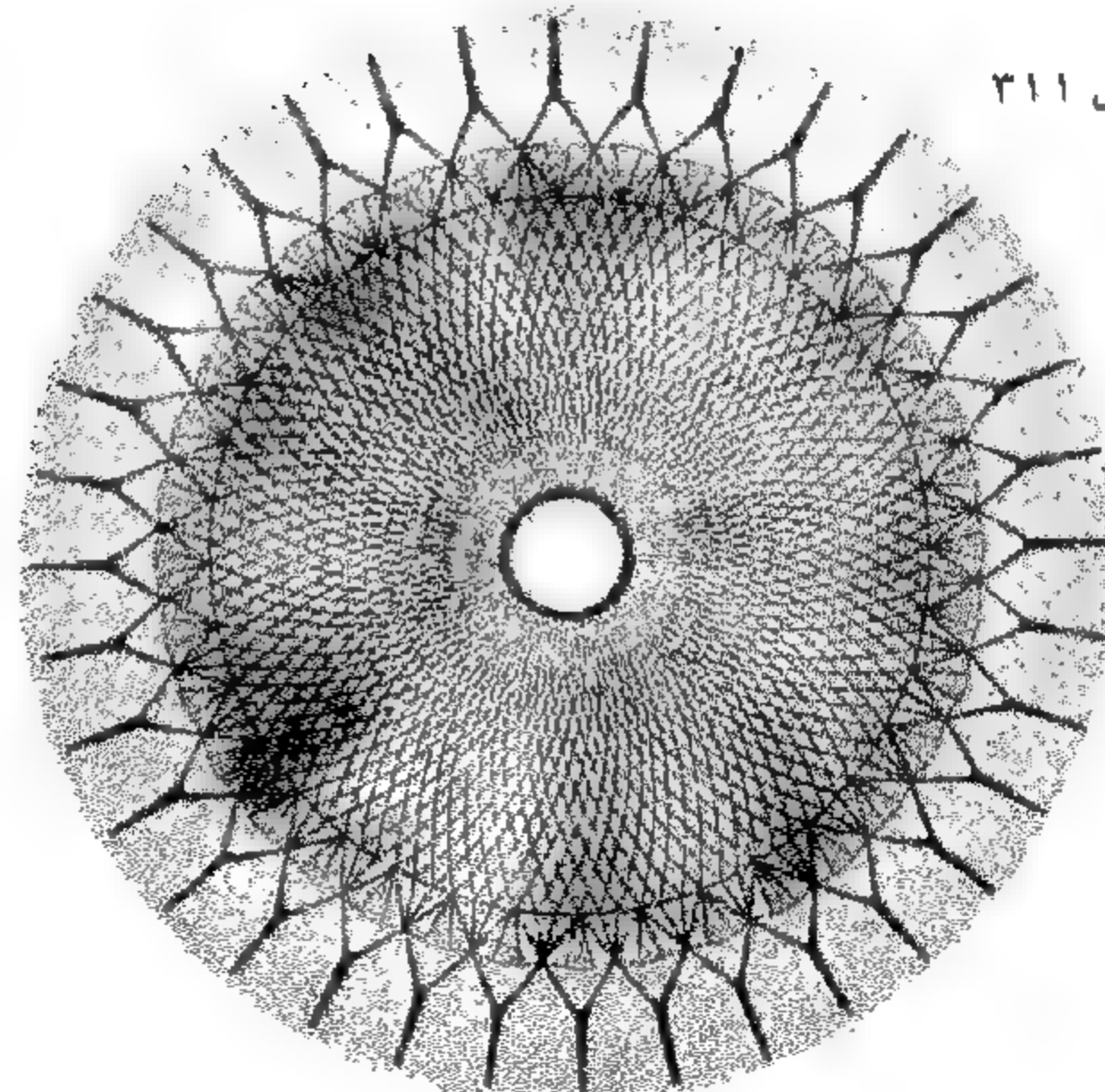
شكل ٣٠٩



شكل ٣١٠



شكل ٣١٢



شكل ٣١١

التكوينات الدورانية مزدوجة الانحناء — رفعها على أعمدة

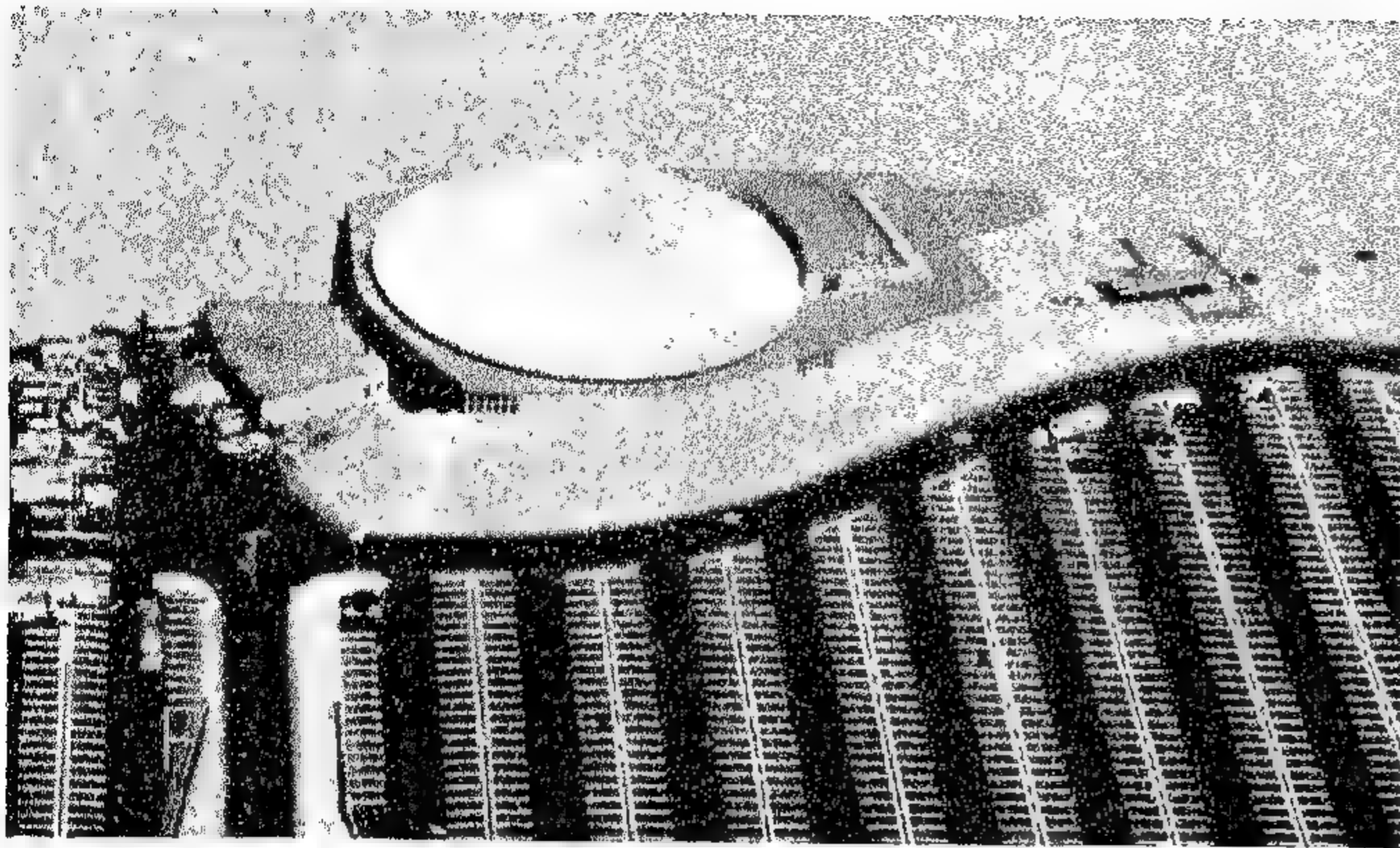
قصر الرياضة الصدير بروما — المعمارى
فيتيلوزى والإنشائى نيرفى

(شكل ٣٠٩) منظور داخل للصالة .

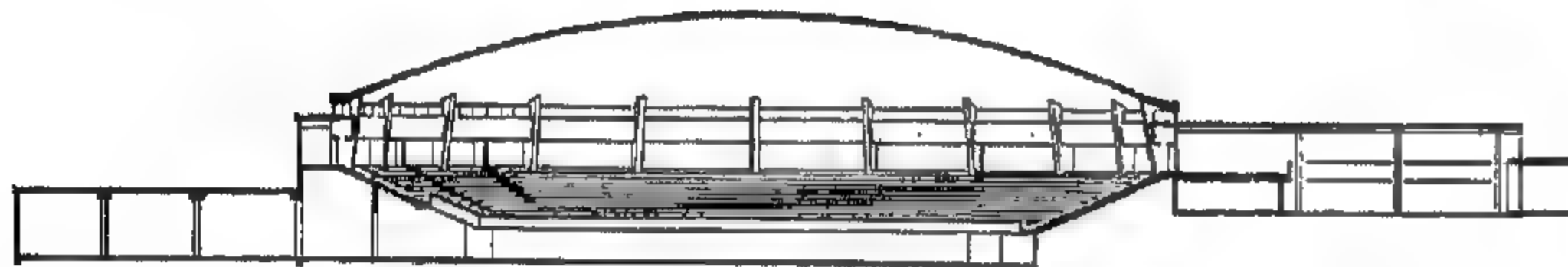
(شكل ٣١٠) قطاع .

(شكل ٣١١) مسقط السقف وأعصابه
وأعمدته الدالة .

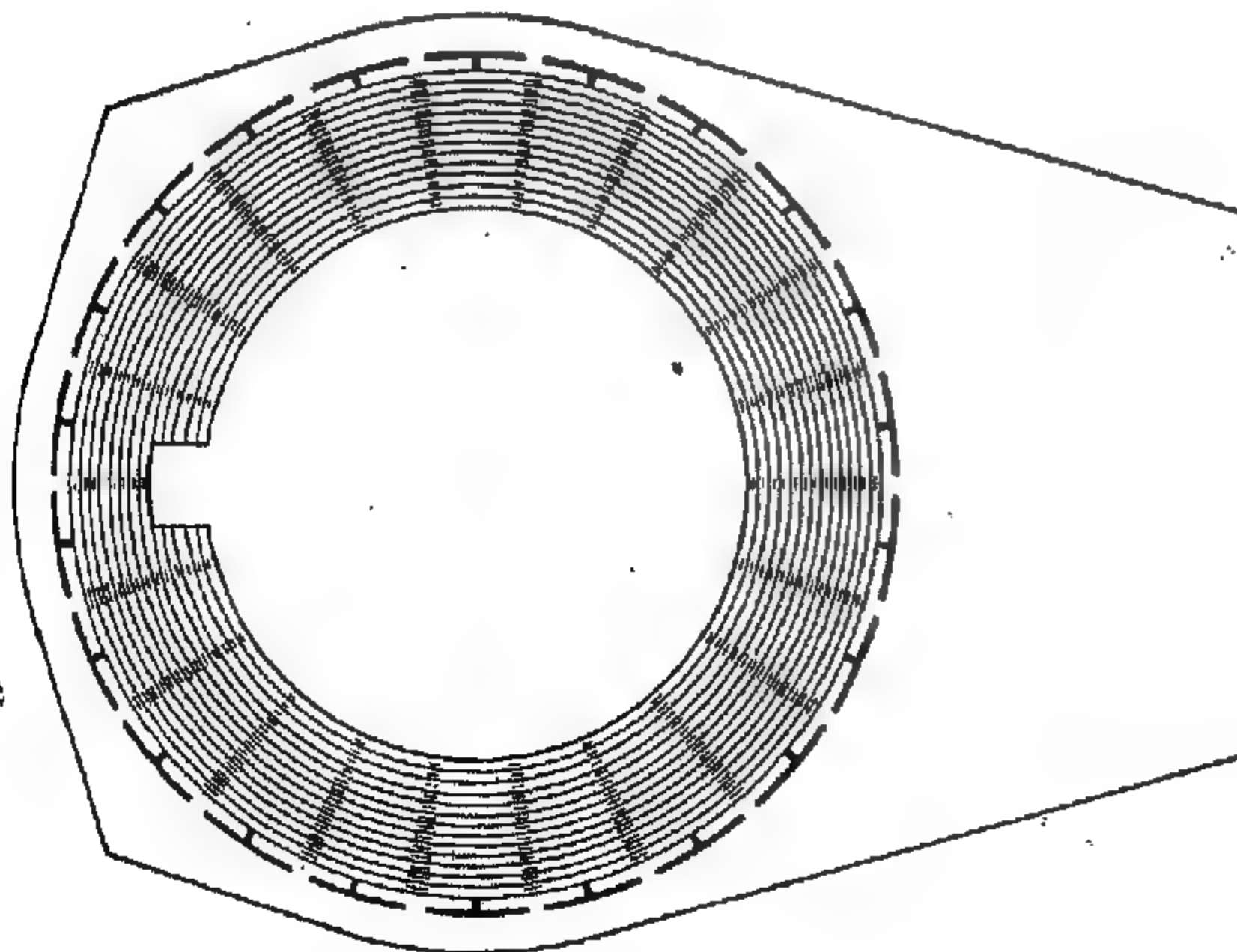
(شكل ٣١٢) مسقط أفقى للصالة مبينا
ترتيب المقاعد لخفلات الملاكمة والمصارعة .



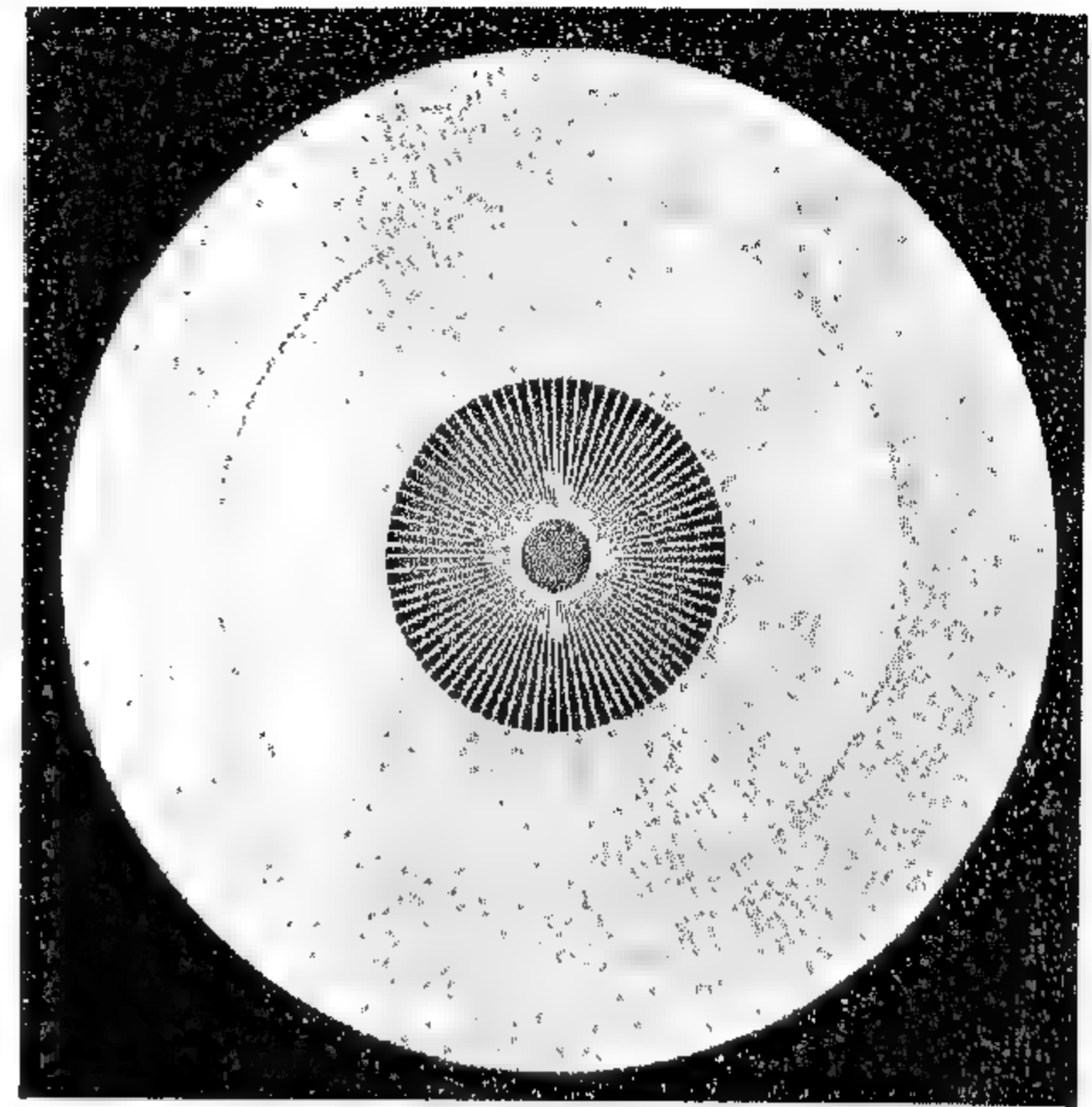
شكل ٣١٣



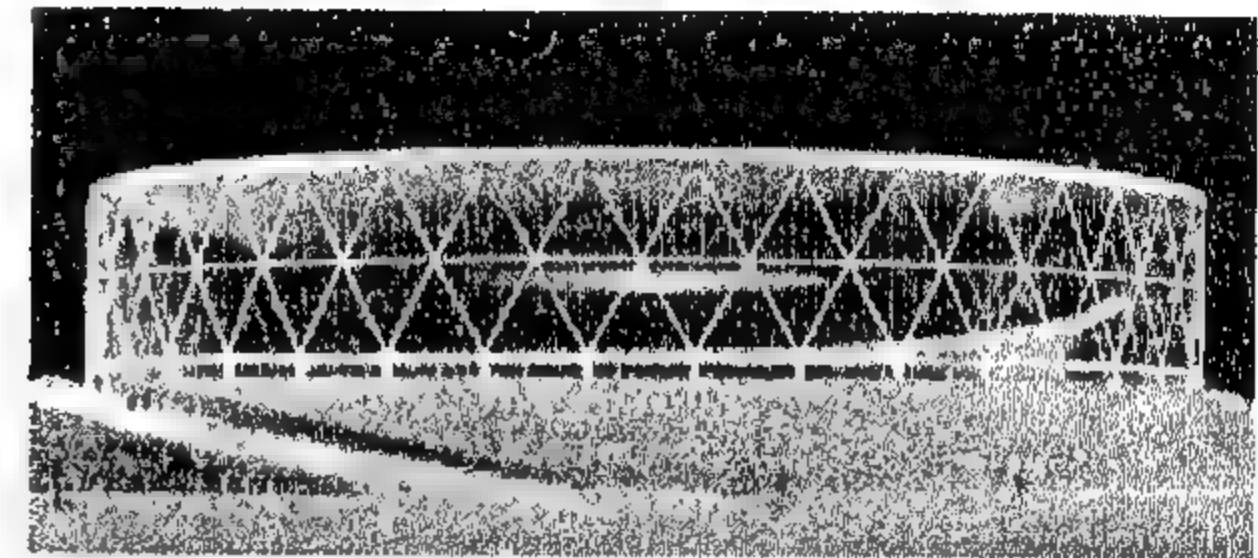
شكل ٣١٤



شكل ٣١٥



شكل ٣١٦



شكل ٣١٧

تكوينات دورانية مزدوجة الانحناء - رفعها على أعمدة

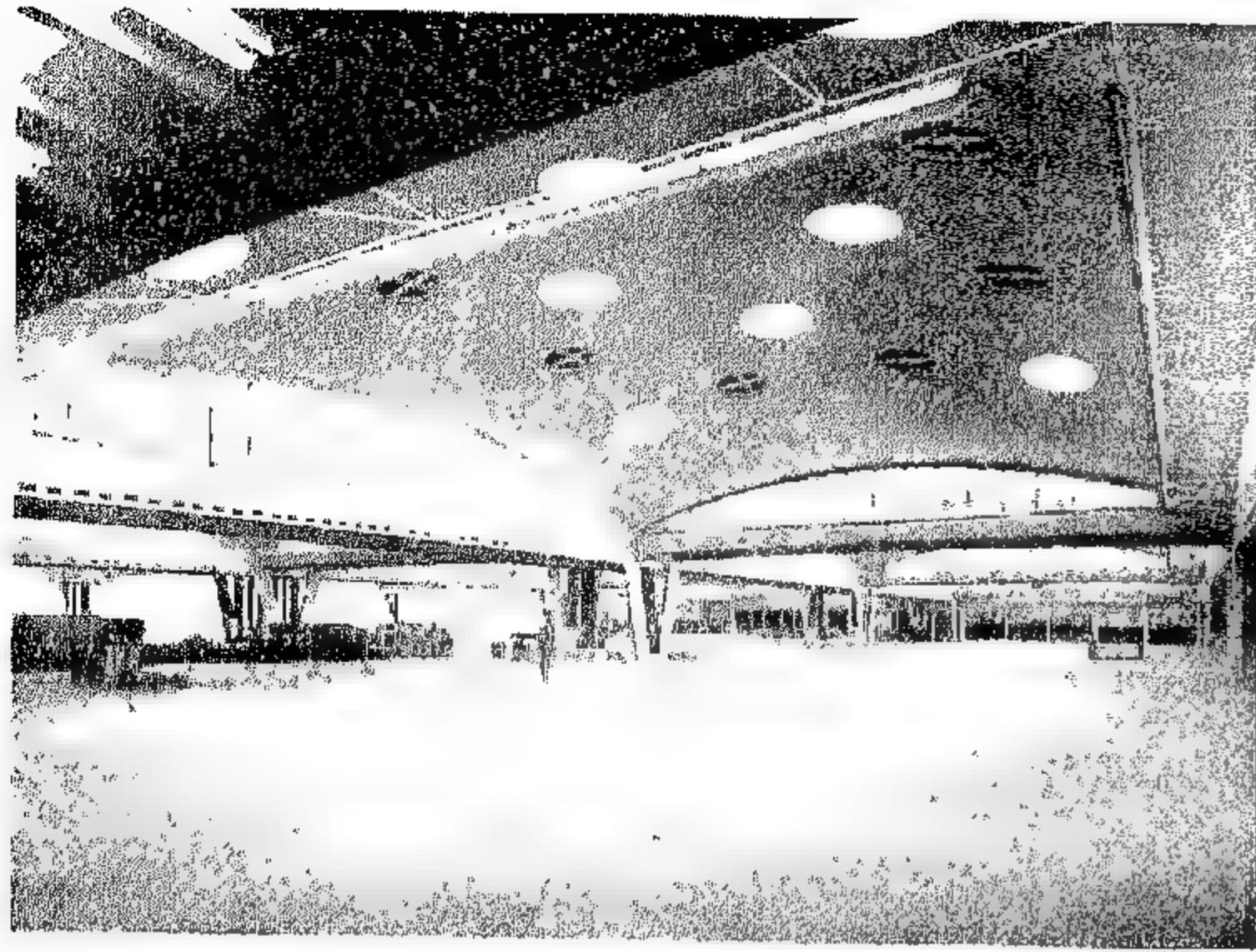
(شكل ٣١٣) صالة الاجتماعات بمدينة البكر بولاية نيومكسيكو - منظور جوي .

(شكل ٣١٤) قطاع بالصالة مينا القبة ذات حلقة الانضباط المحيطة والأعمدة الرأسية الحاملة .

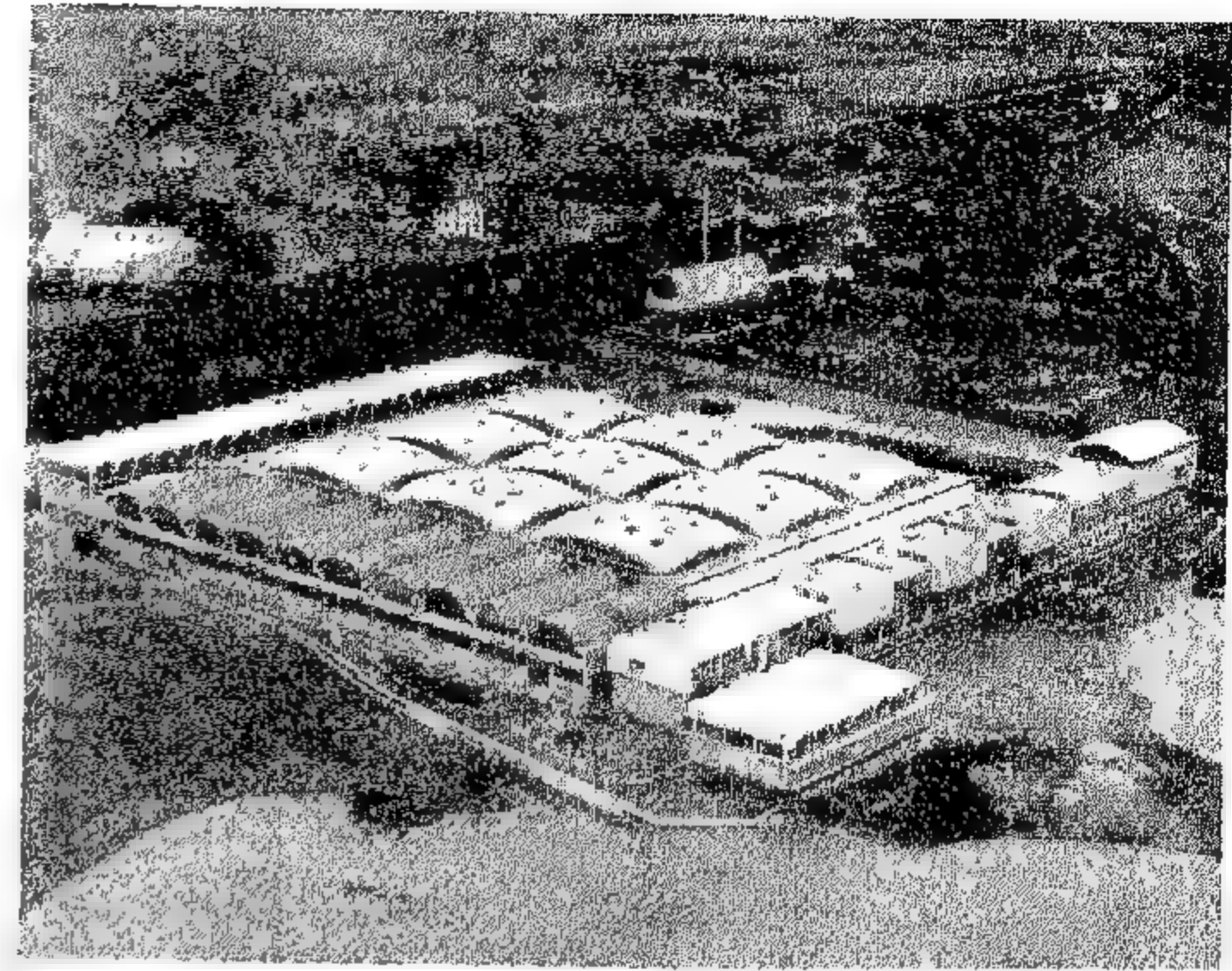
(شكل ٣١٥) مسقط أفقي .

(شكل ٣١٦) قبة مقلوبة على أعمدة بقطر ٤٢٠ قدما في الحلقة الجديدة بمدينة أوكلند بكاليفورنيا .

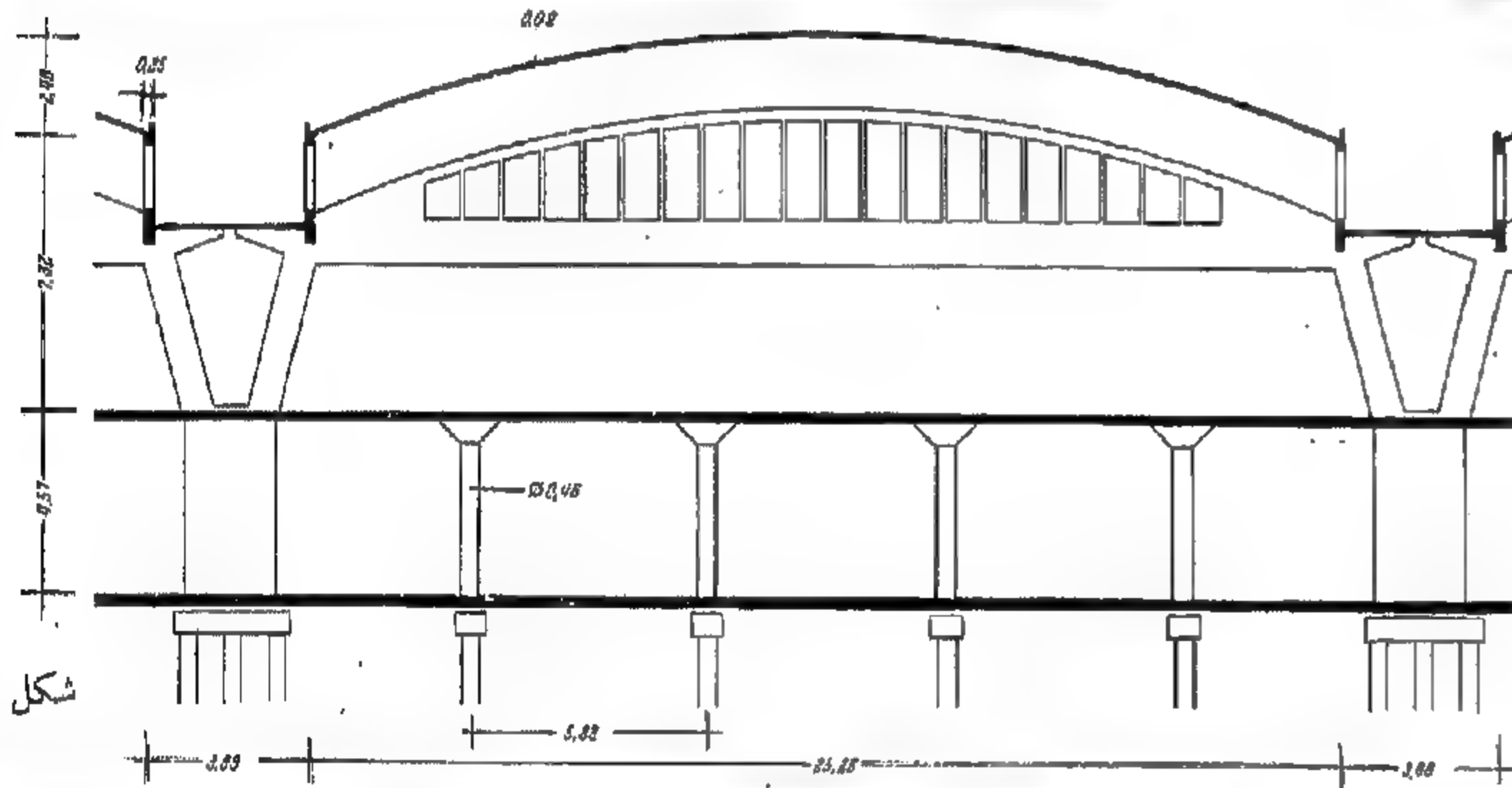
(شكل ٣١٧) منظور خارجي للقاعة .



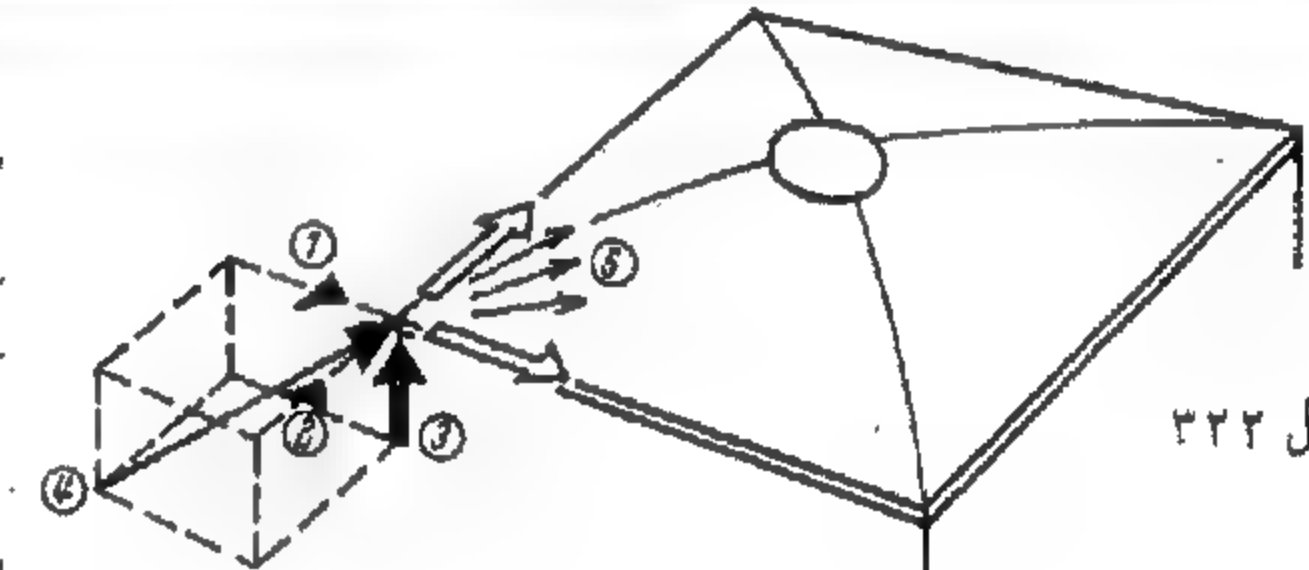
شكل ٣١٨



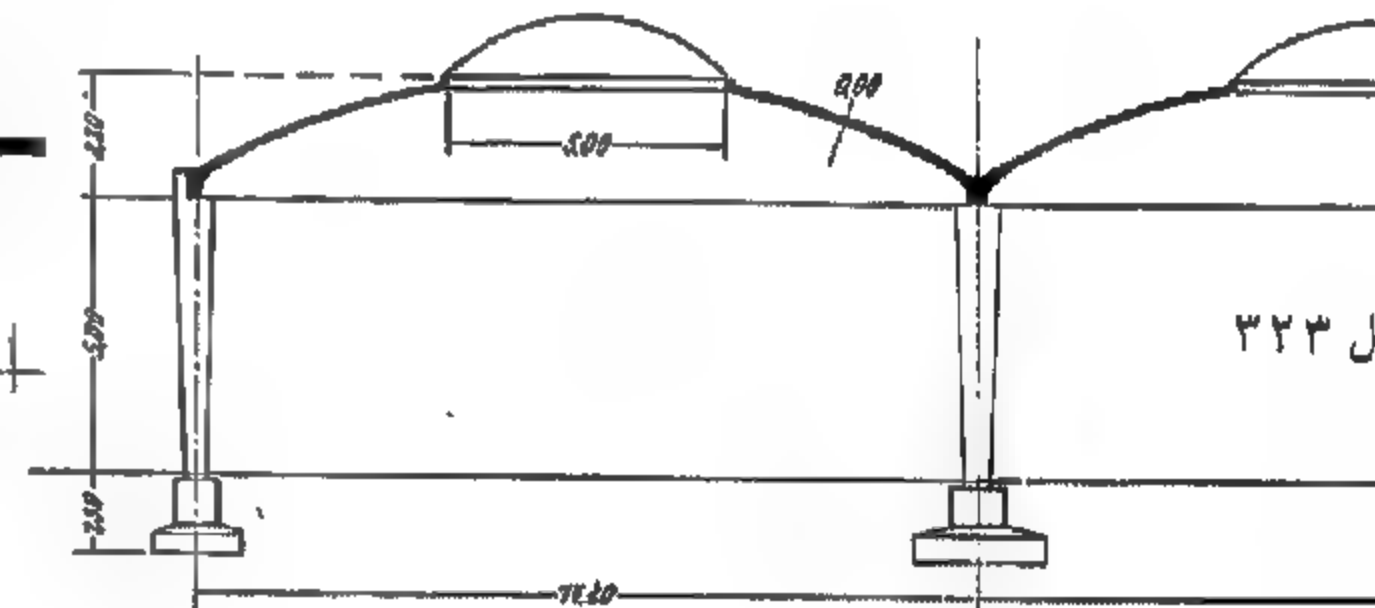
شكل ٣١٩



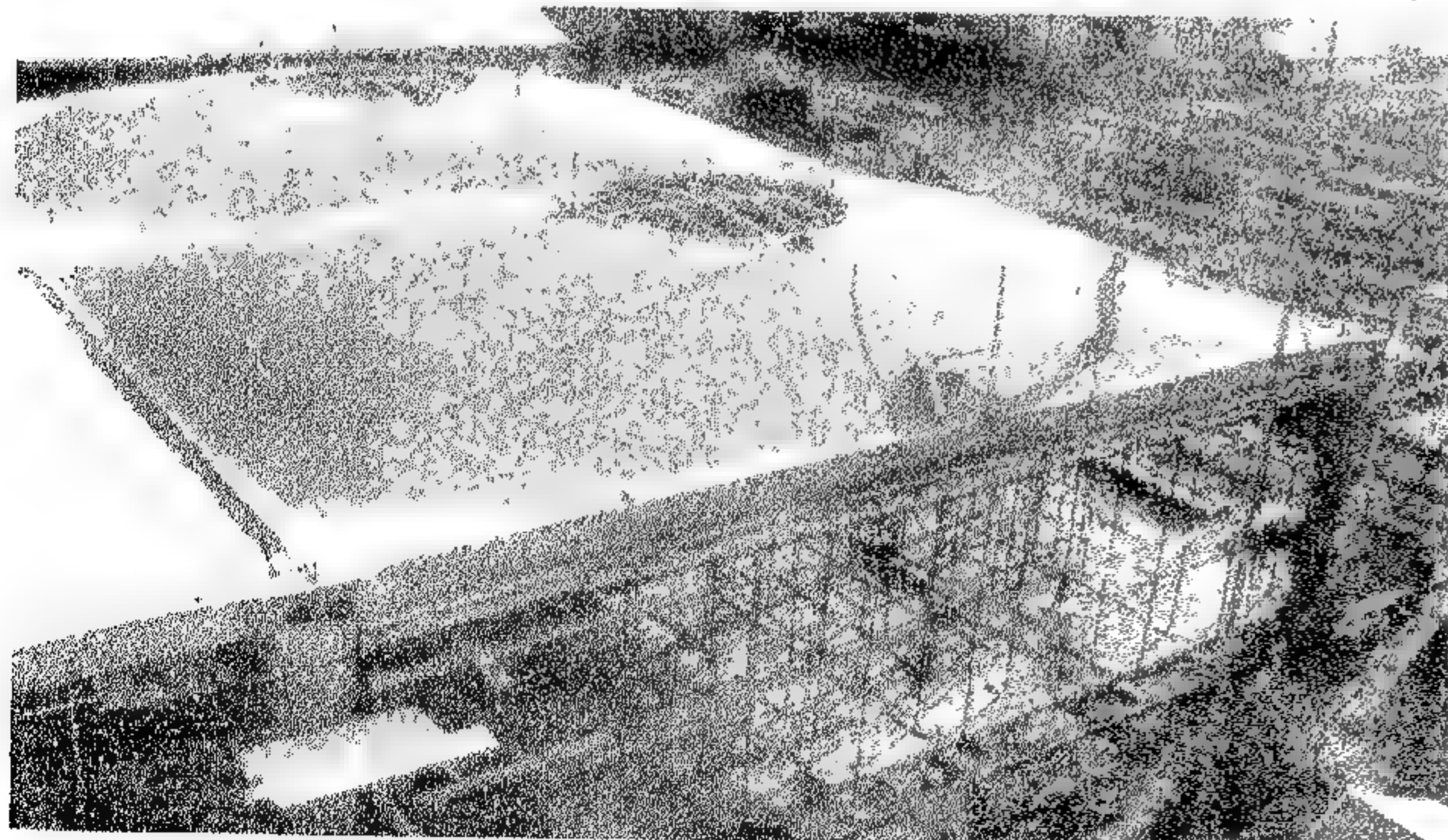
شكل ٣٢٠



شكل ٣٢٢



شكل ٣٢٣



وحدات مزدوجة الانحناء على أعمدة

مصانع انفيلد بمدينة برنماور بولاية ويلز الجنوبية
بإنجلترا (المعماريون أوغ أرب وشركاه)

(شكل ٣١٨) منظور داخلي .

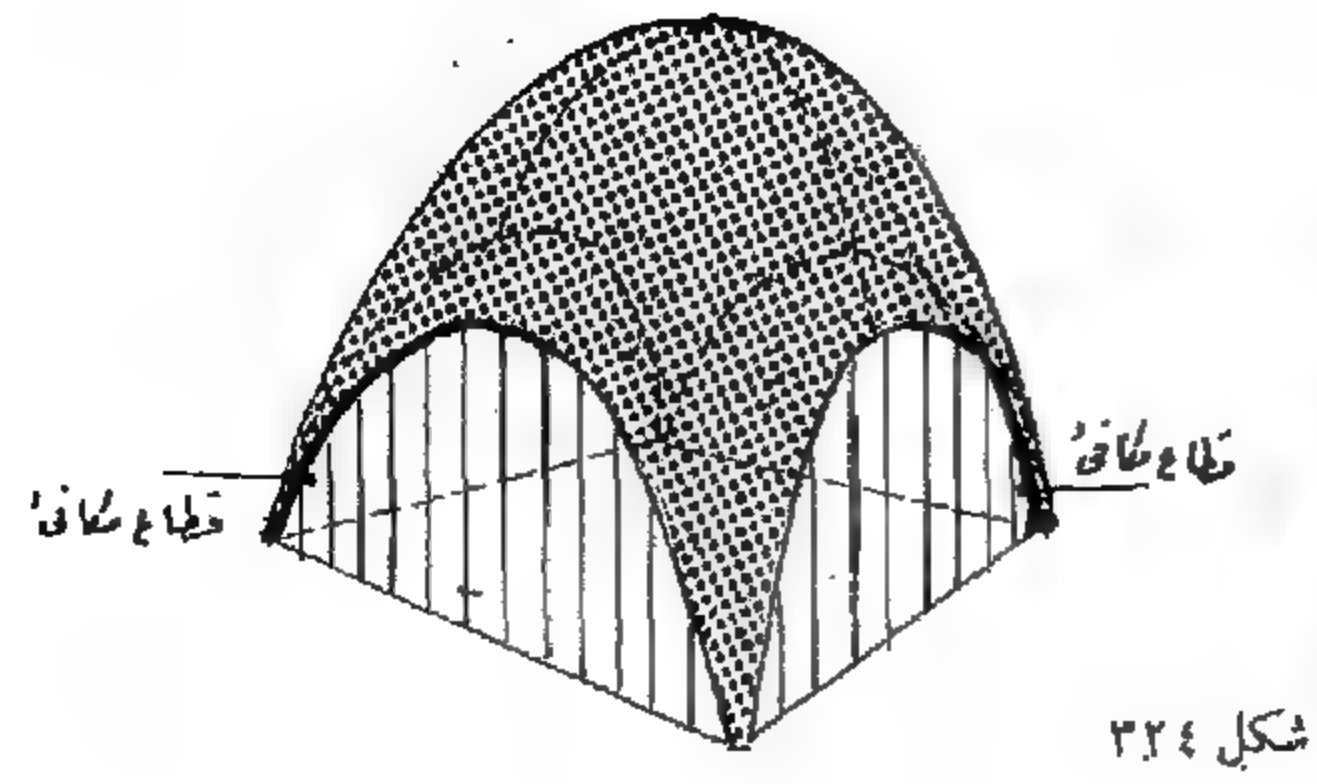
(شكل ٣١٩) -منظر خارجي للقباب بفتحاتها الجانبية
والدائرية .

(شكل ٣٢٠) قطاع .

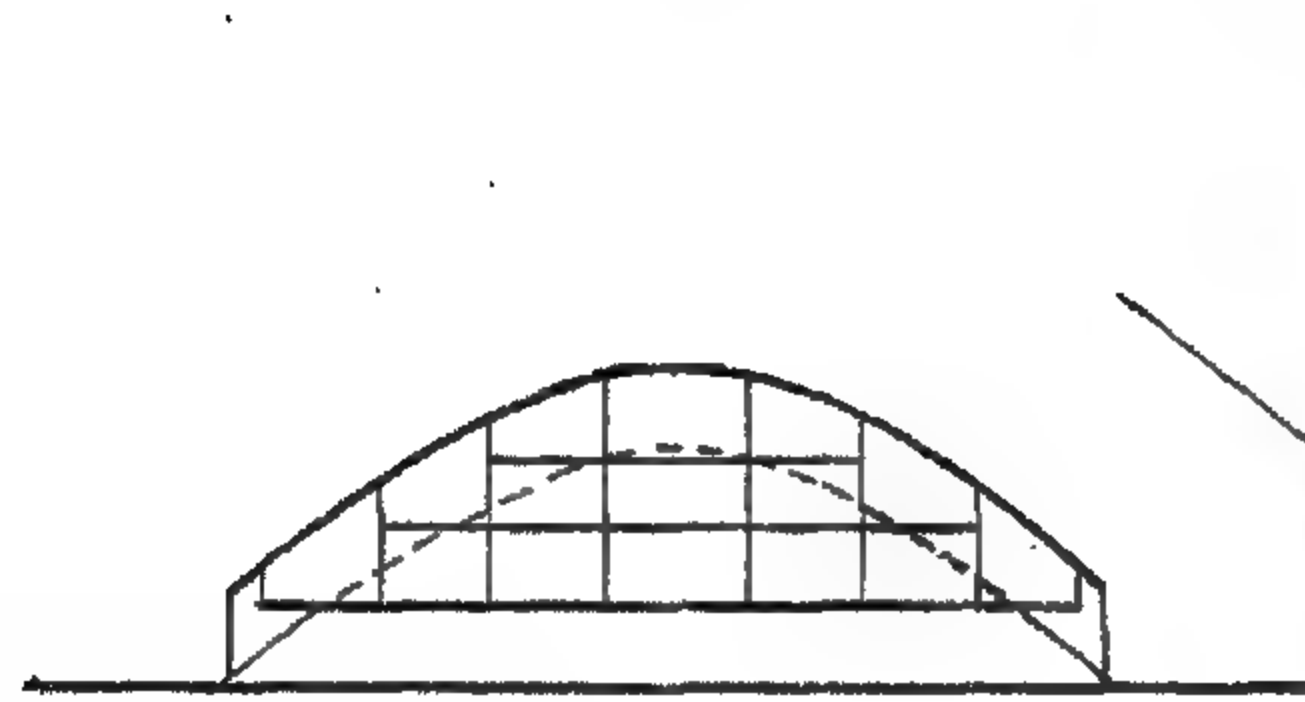
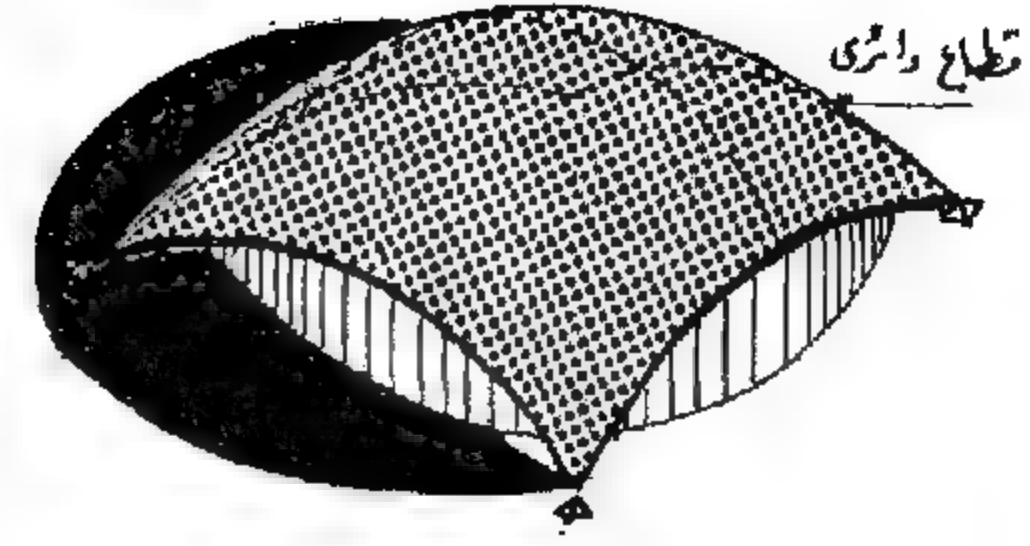
(شكل ٣٢١) صالة الإنتاج في مصانع إسمان في مدينة
نون بسويسرا .

(شكل ٣٢٢) منظور للوحدة .

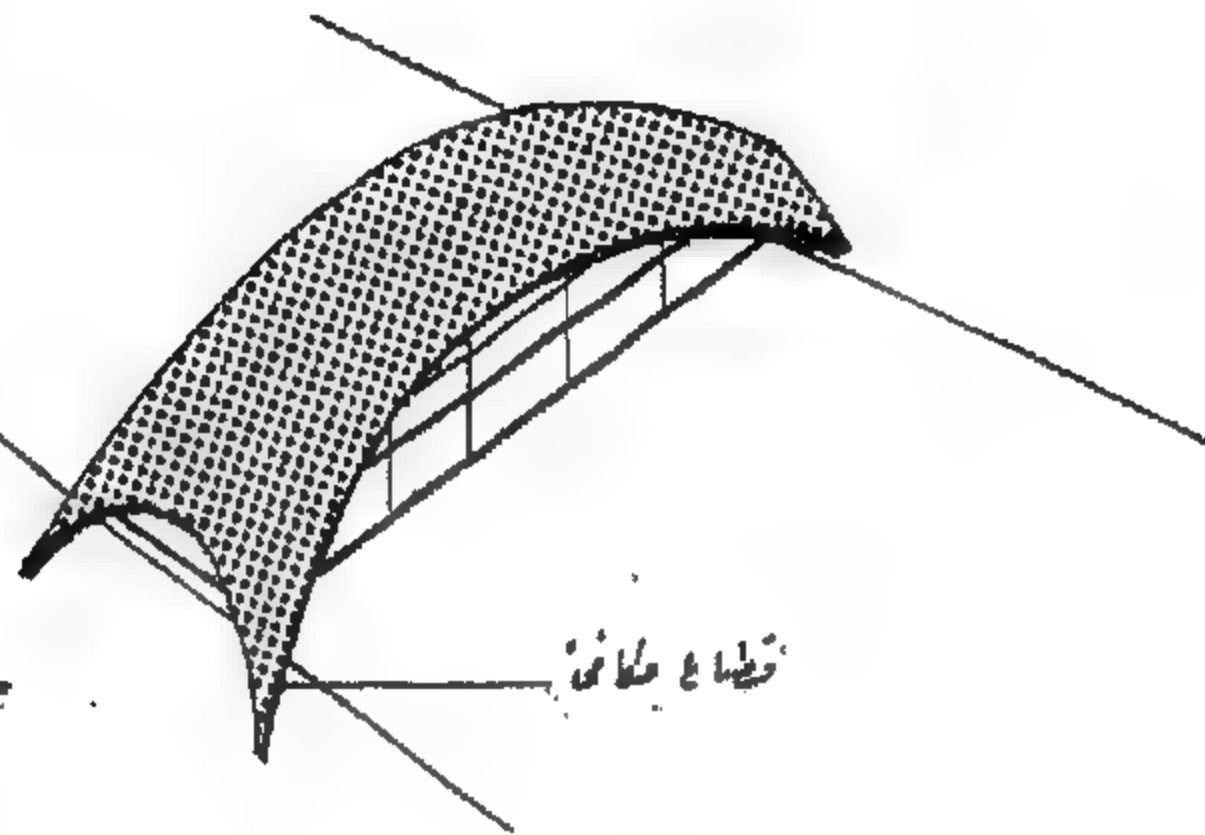
(شكل ٣٢٣) قطاع .



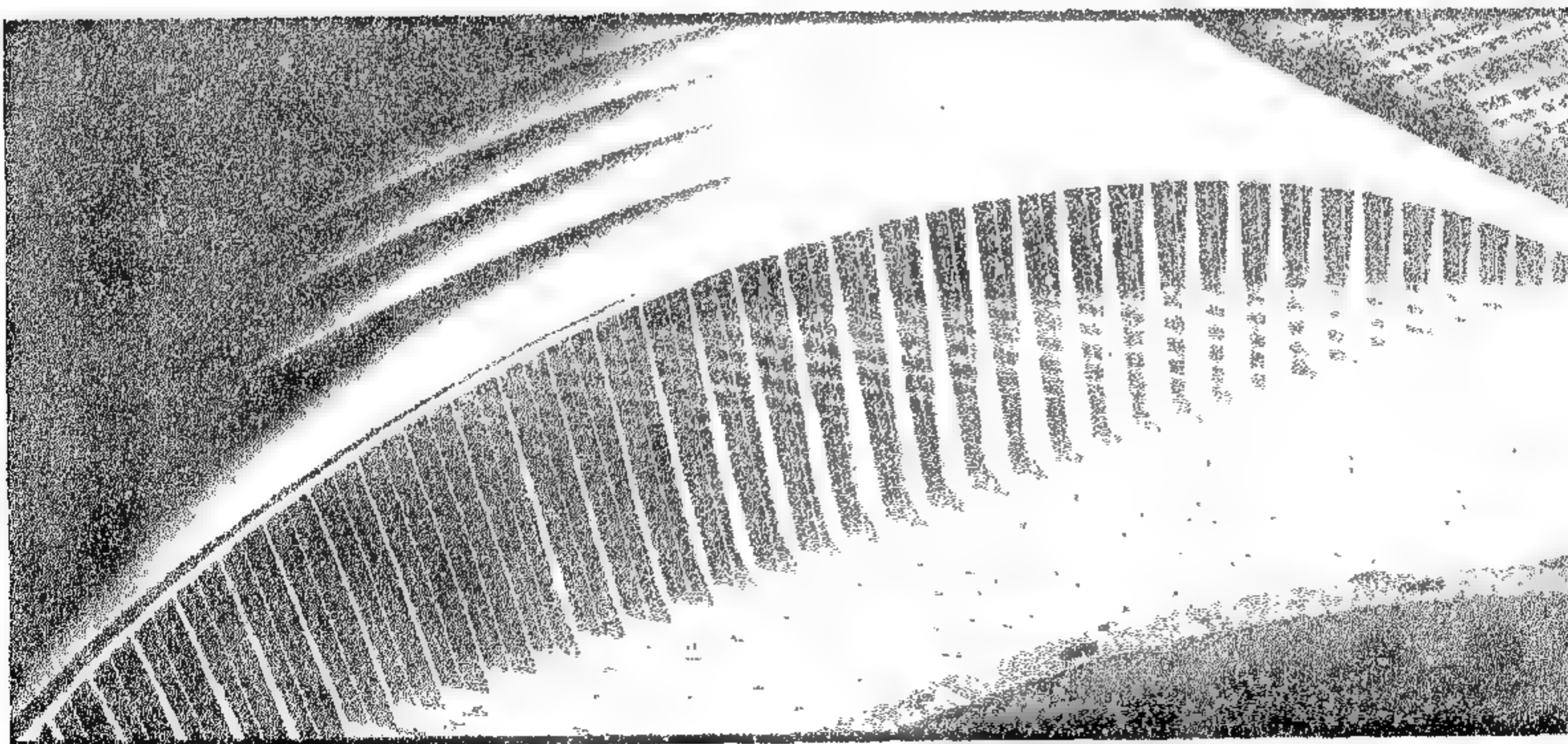
شكل ٣٢٤



شكل ٣٢٥



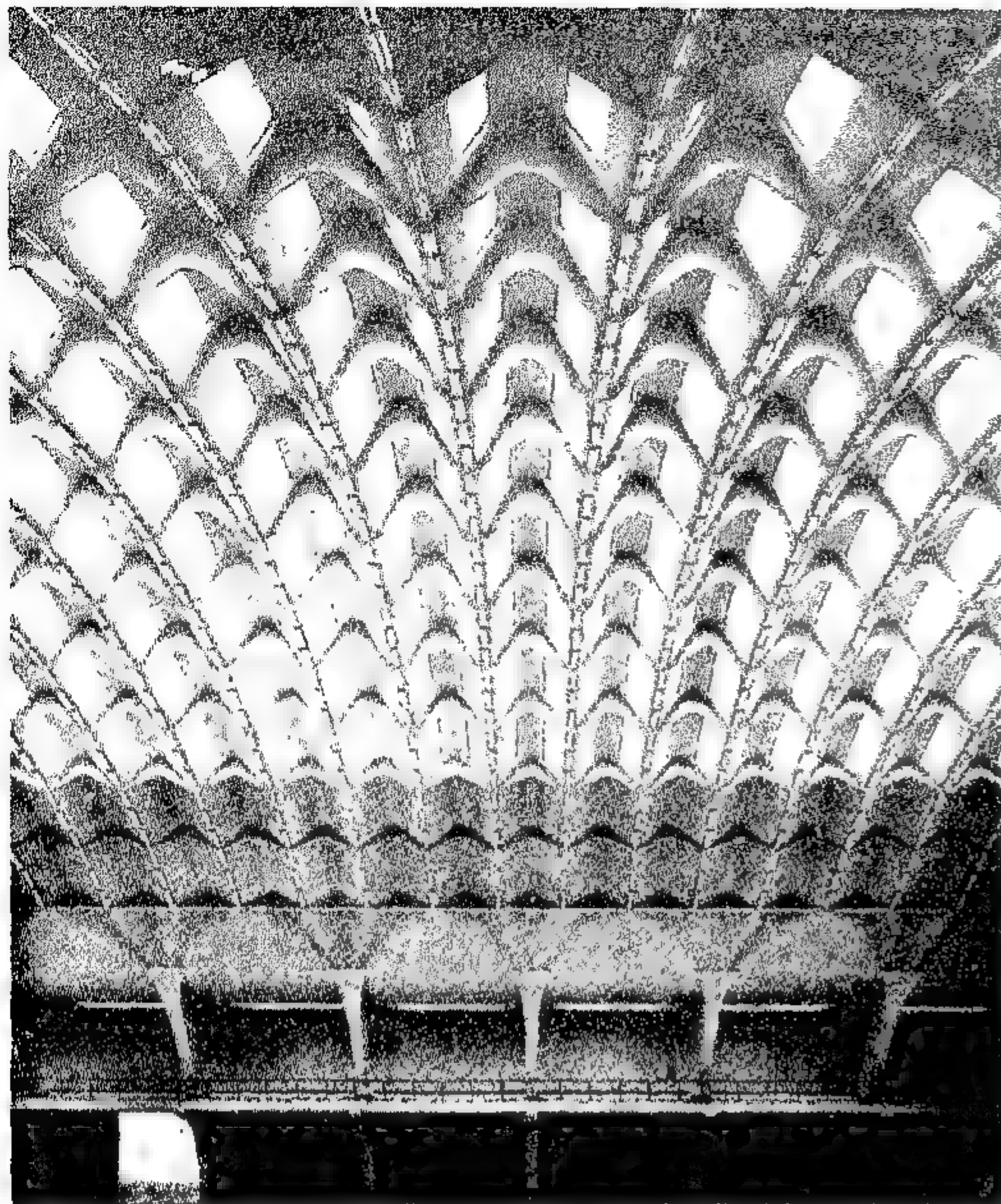
شكل ٣٢٦



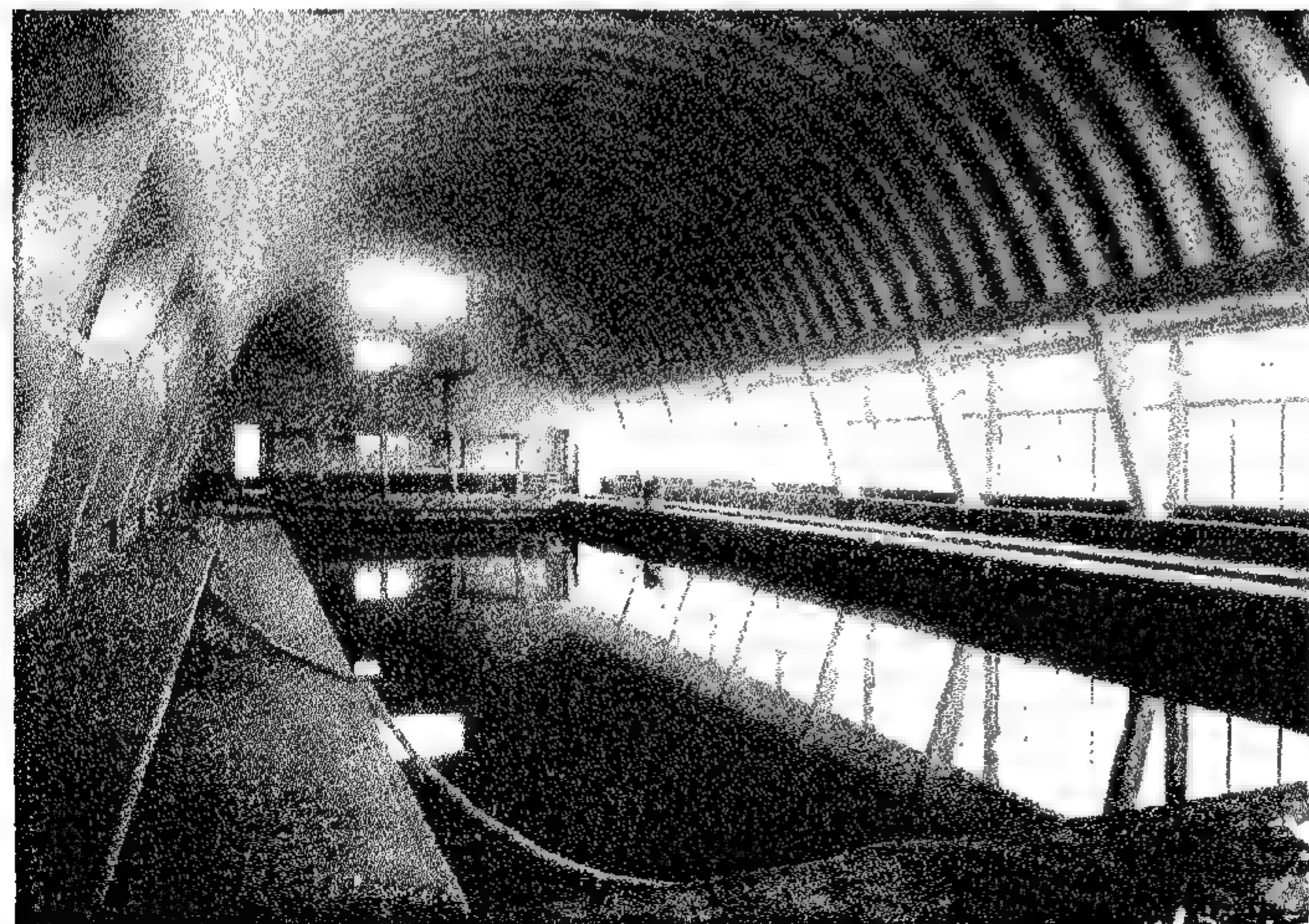
وحدات انتقالية مزدوجة الانحناء

(شكل ٣٢٤) وحدات انتقالية على مساقط
مربعة (قطاع مكافئ أو دائري يتحرك على آخر).
(شكل ٣٢٥) وحدات انتقالية على مساقط
مستطيلة (قطاع مكافئ أو دائري على قطاع
مكافئ).

(شكل ٣٢٦) مشروع بلنر وأندرسون لسقف
ذو بحر ١٠٠٠ قدم لاستعماله المعرض دول
بمدينة نيويورك.



شكل ٣٢٧



شكل ٣٢٨

وحدات انتقالية مزدوجة الانحناء —
طويلة .

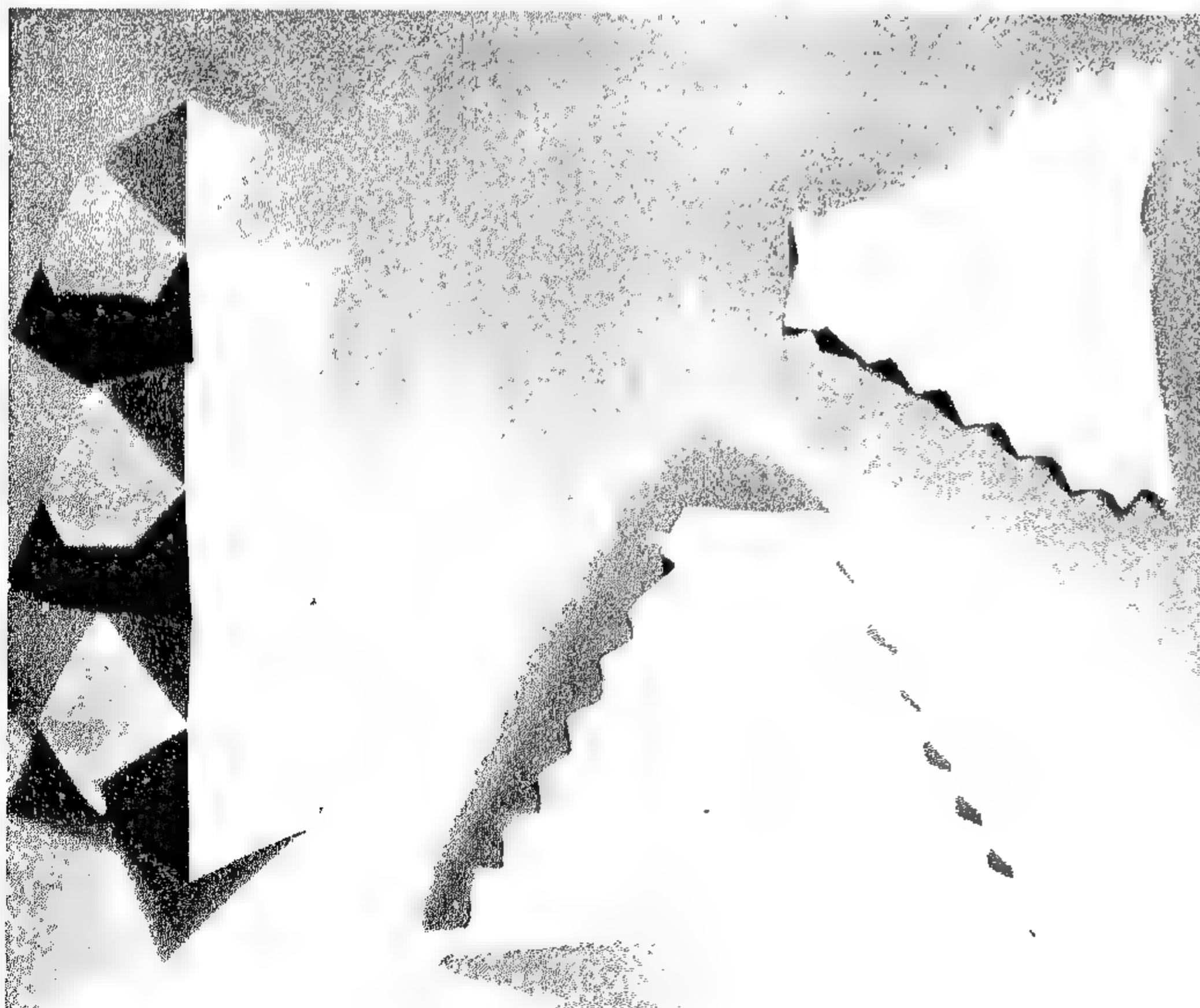
(شكل ٣٢٧) الصالة الرئيسية في معرض
تورينو بإيطاليا (المهندس المعماري
بسكاريني والإنشائي بيير لويجي فيرقي .
(شكل ٣٢٨) حمام سباحة الأكاديمية
البحرية في لجهورن بإيطاليا — طريقة فيرقي .



شكل ٣٢٩

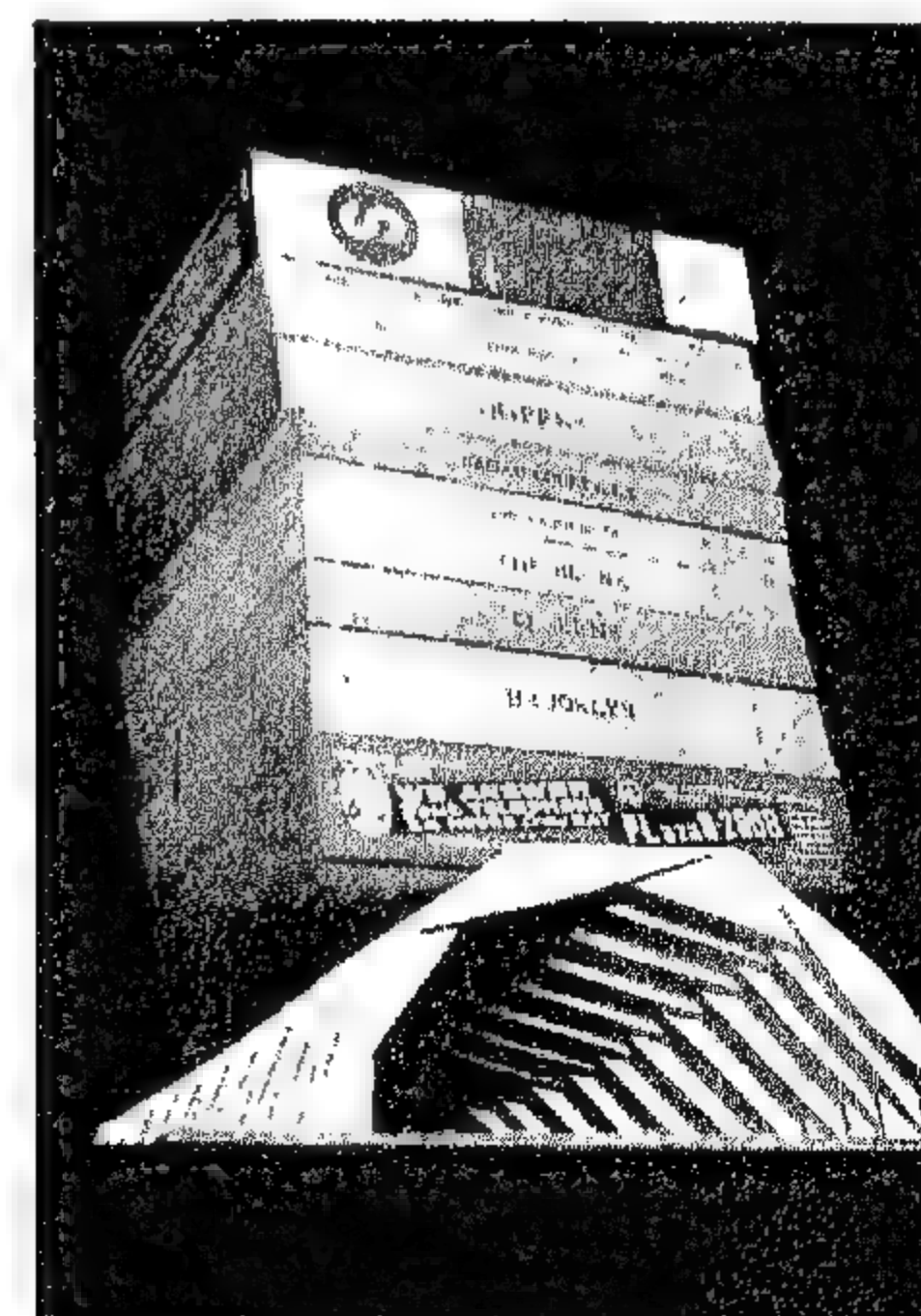
وحدات منطقة في الاتجاهين

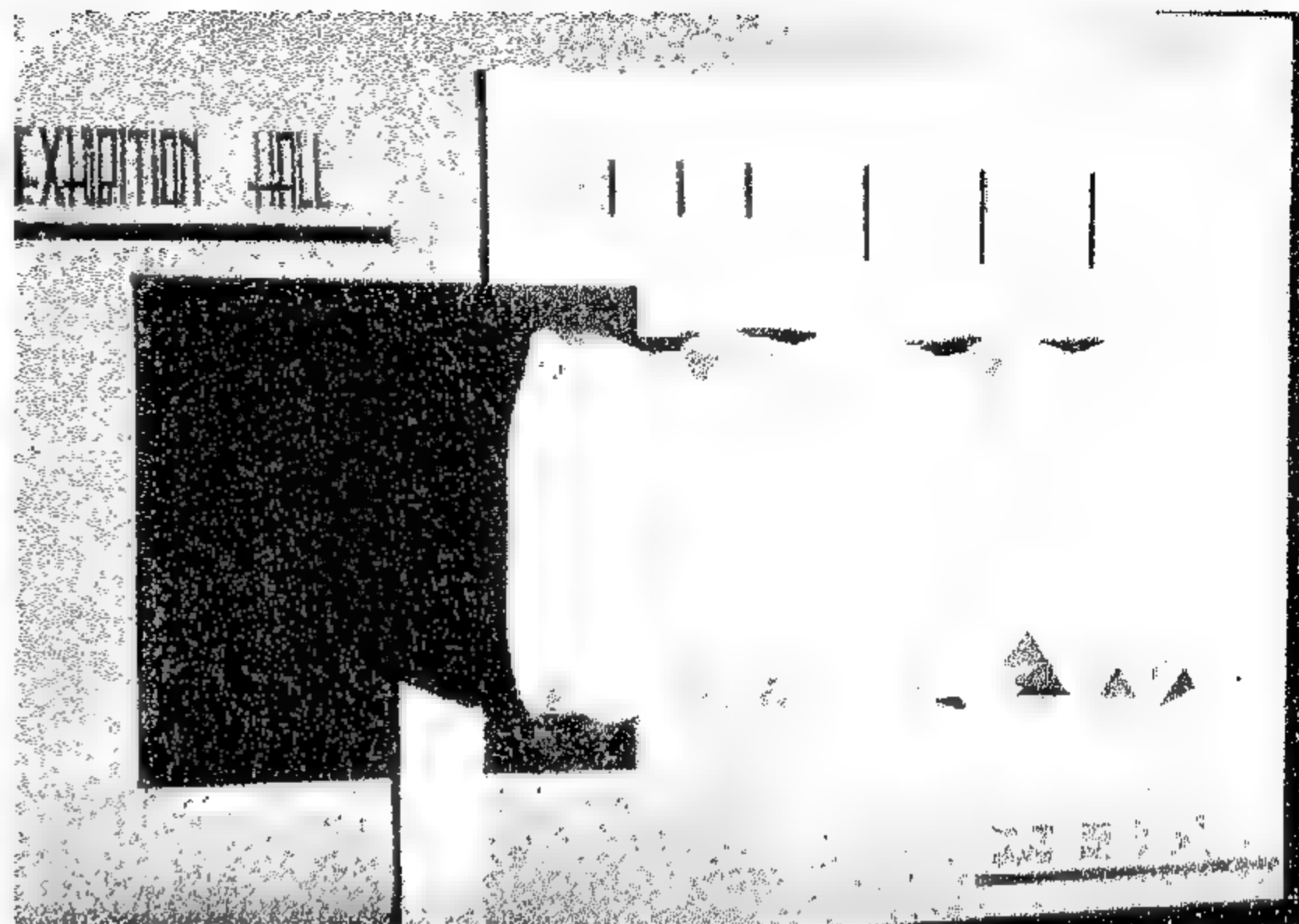
(شكل ٣٢٩) محطة الوصول لنظام العربات
المعلقة بأعلى جبل مونت أفيللا بجوار كراكس
بسنزويلا سنة ١٩٥٥ .
(شكل ٣٣٠) نماذج ورق منطقة على
مساقط مستطيلة ومربعة ودائرية - المهندس
رشارد فلايشمان جامعة كولومبيا سنة ١٩٥٤ .
(شكل ٣٣١) قنبر من ورق منطبق تحت
التحميل .



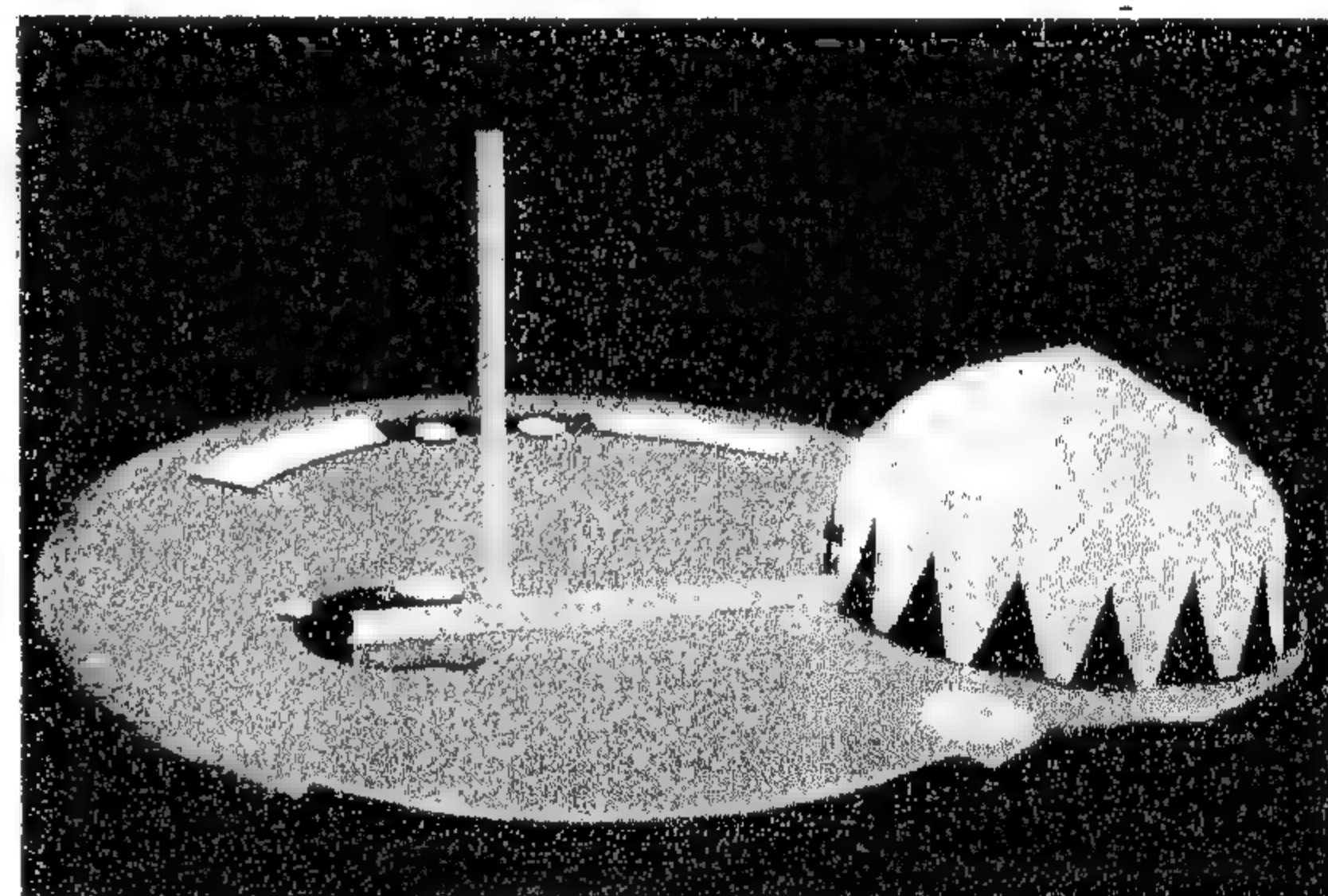
شكل ٣٣٠

شكل ٣٣١





شكل ٣٣٥



شكل ٣٣٧

وحدات منطبقة في الاتجاهين

تطبيقات معمارية لطلبة السنة
الثانية عمارة جامعة القاهرة

٦٤ - ٦٥ .

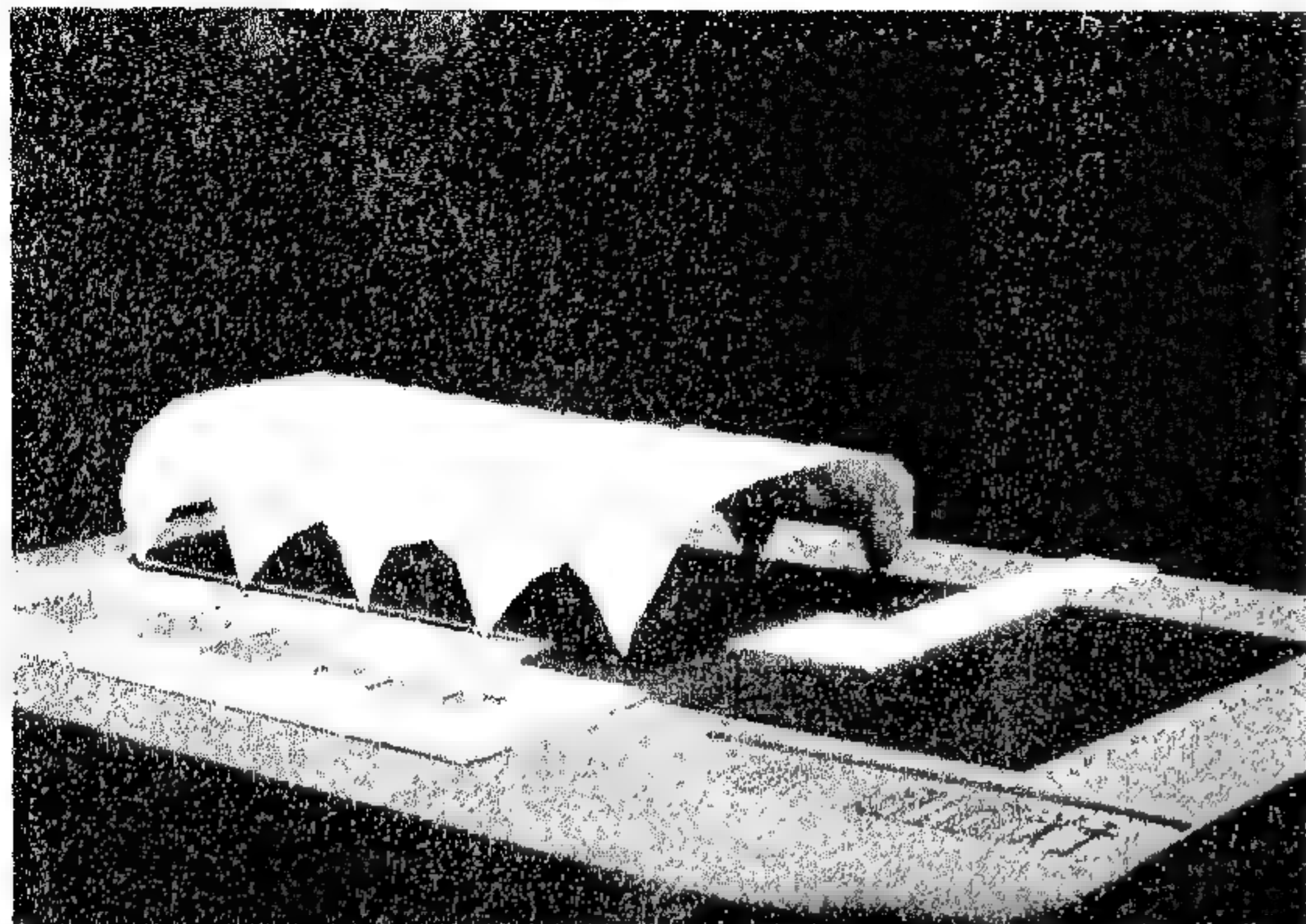
(شكل ٣٣٢ - ٣٣٦) نماذج

لأسقف على مساحات مستطيلة

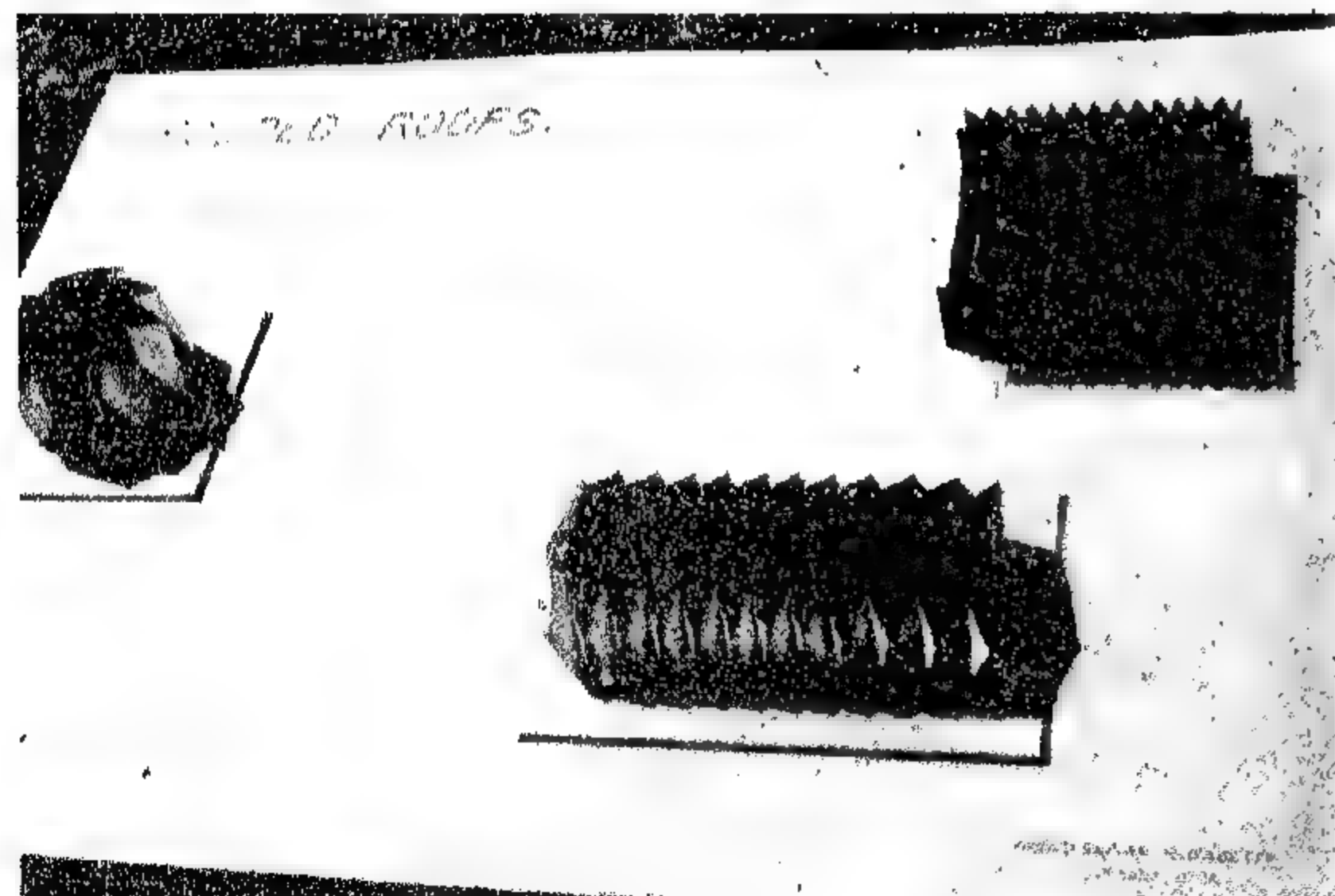
ومربعة دائرية ومتعددة الأضلاع

(شكل ٣٣٧) أسقف منطبقة على

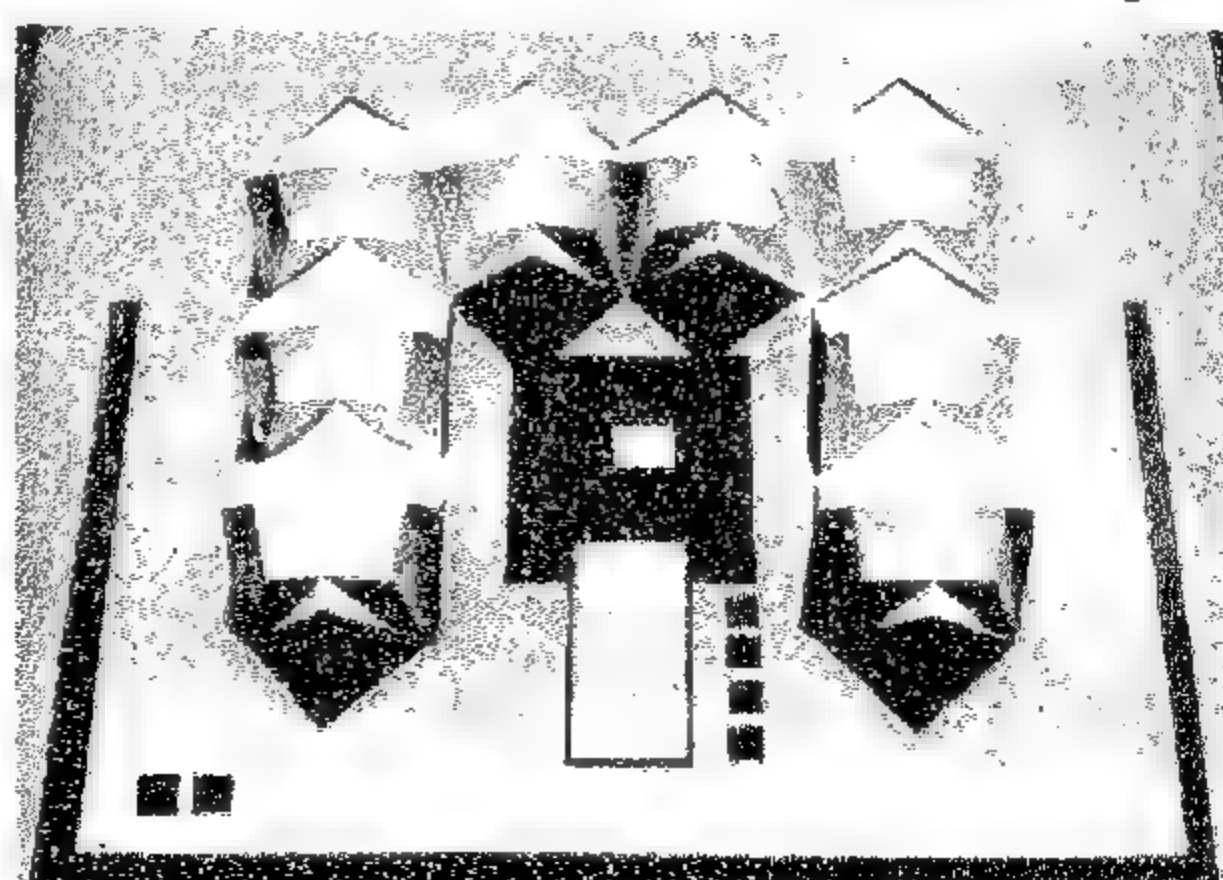
باكيات مربعة متكررة .

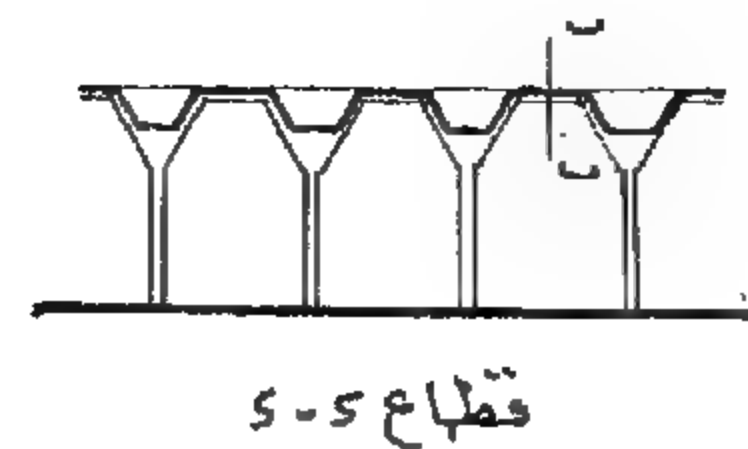
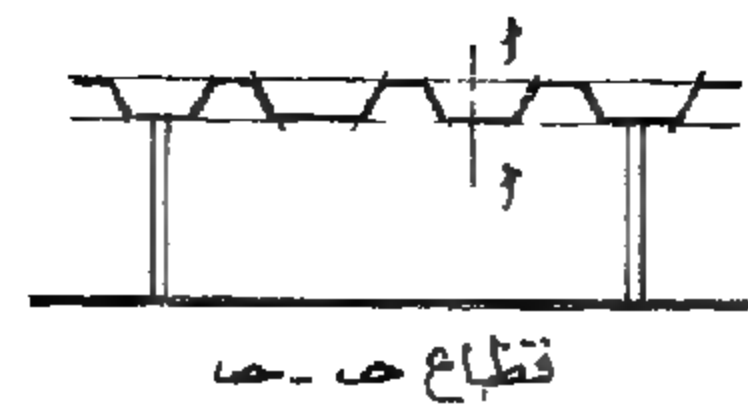
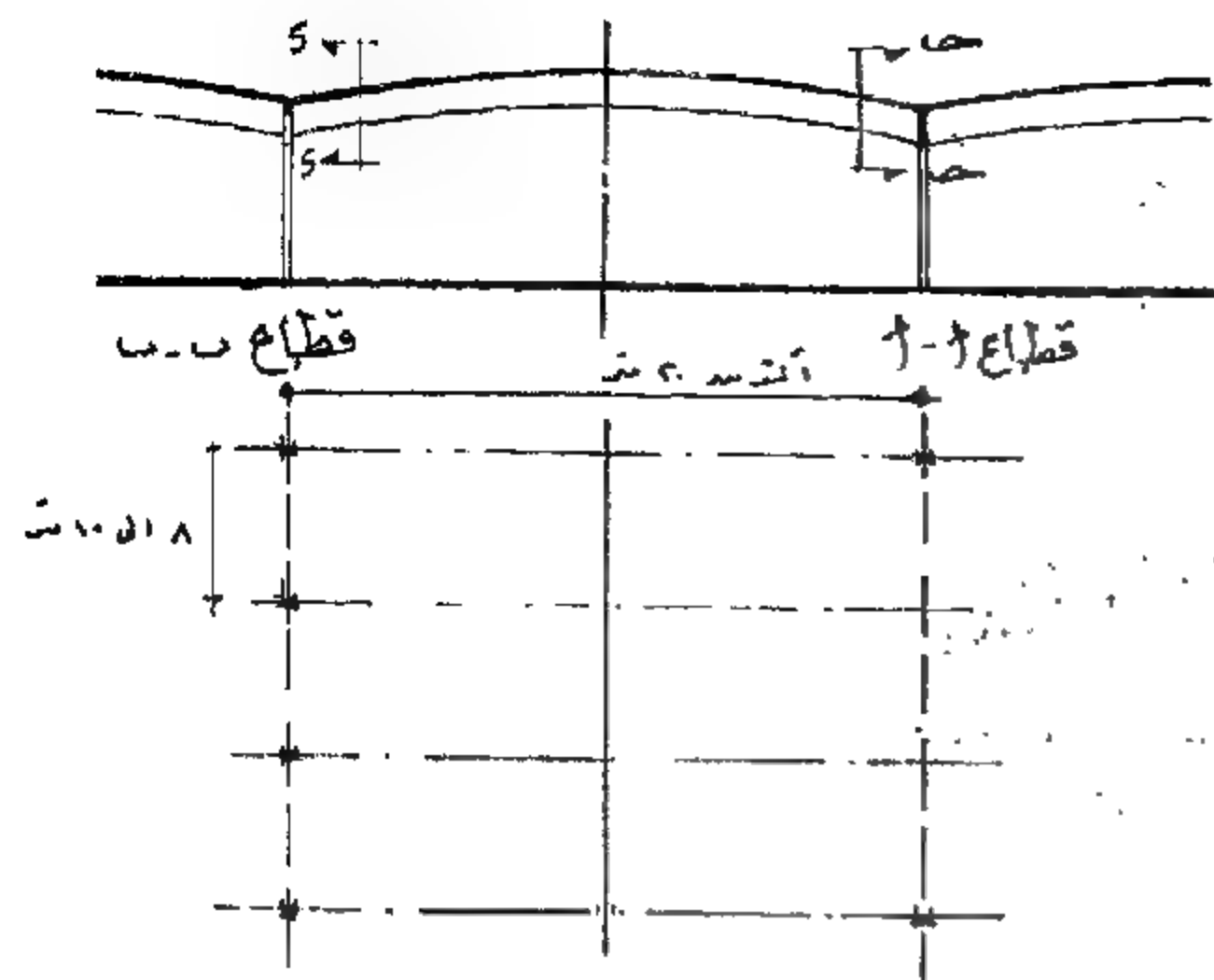


شكل ٣٣٤

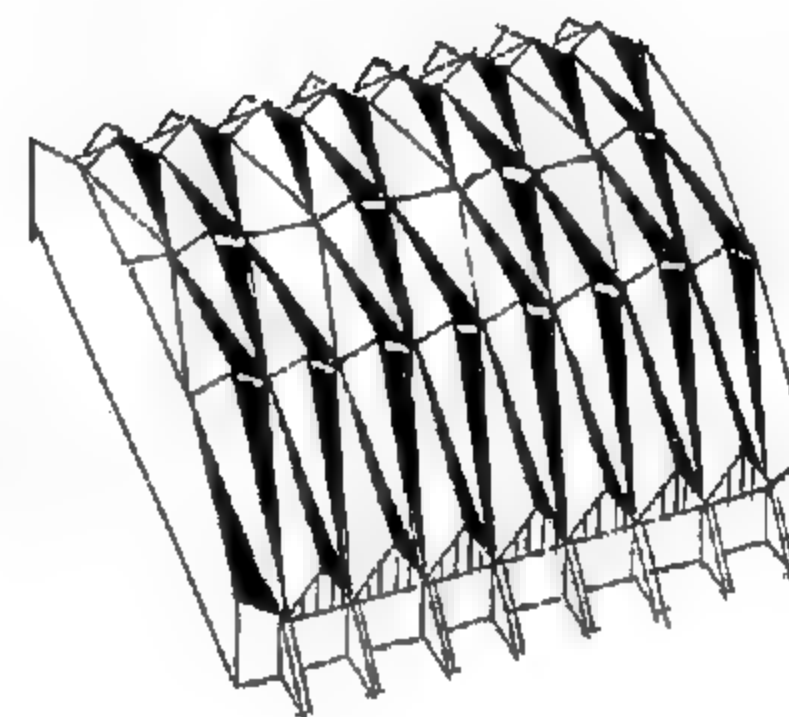
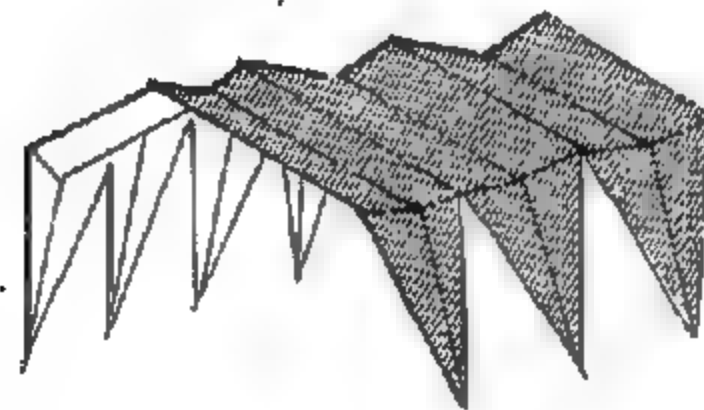
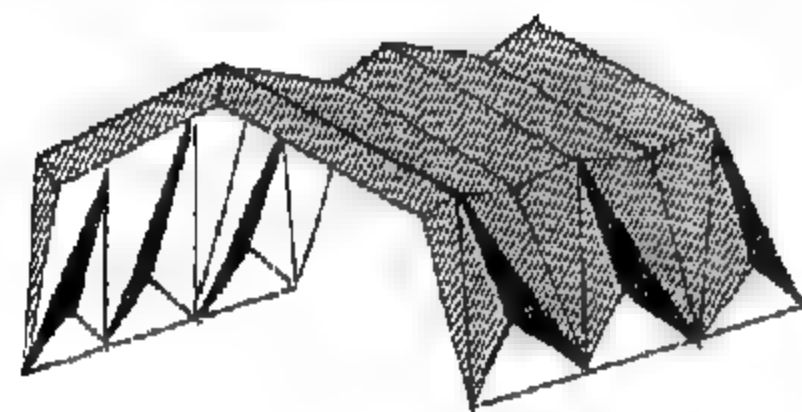


شكل ٣٣٦

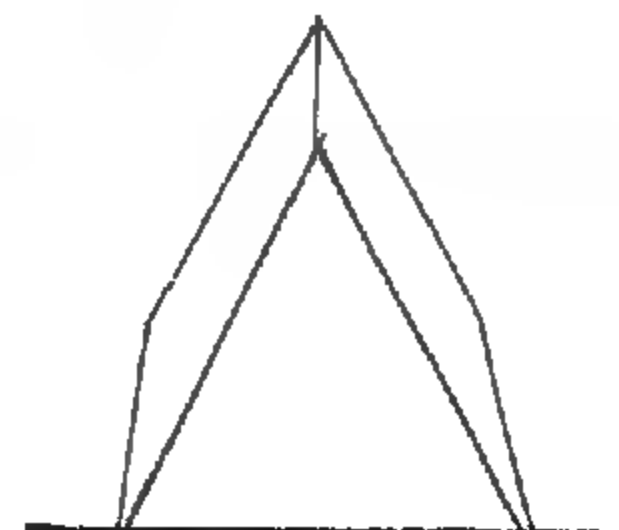
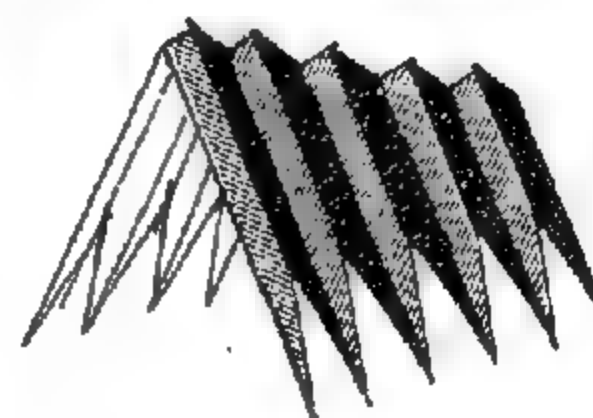
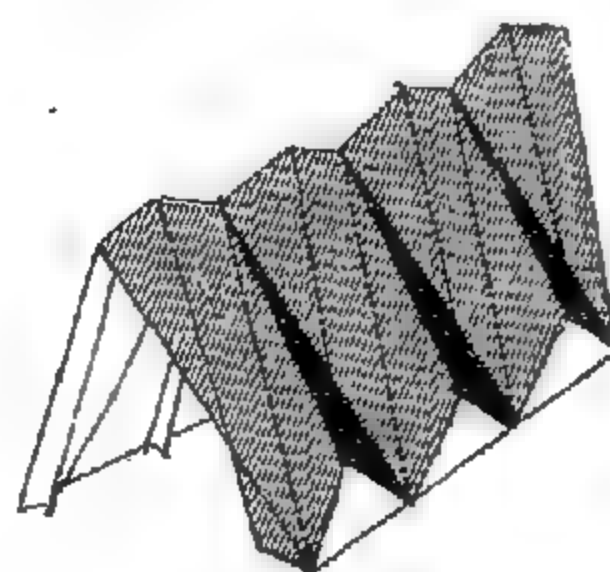
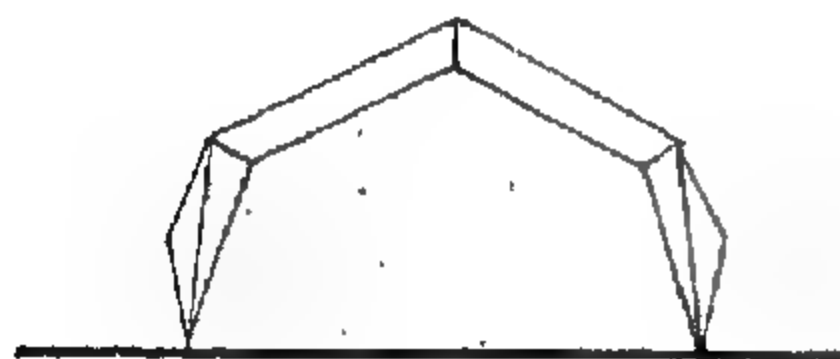




شكل ٣٣٨



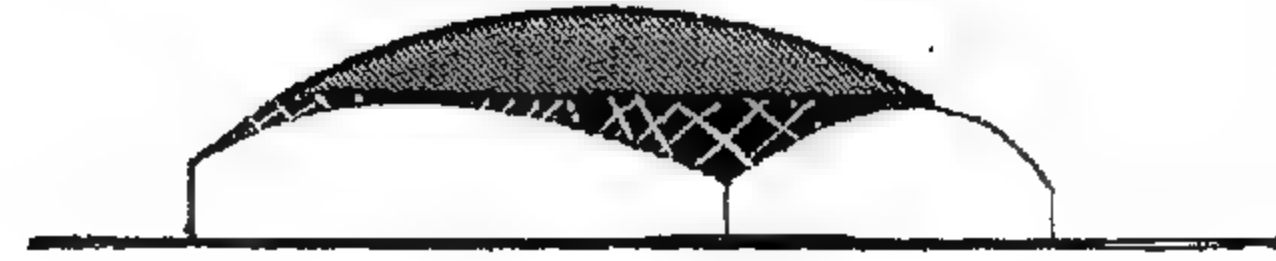
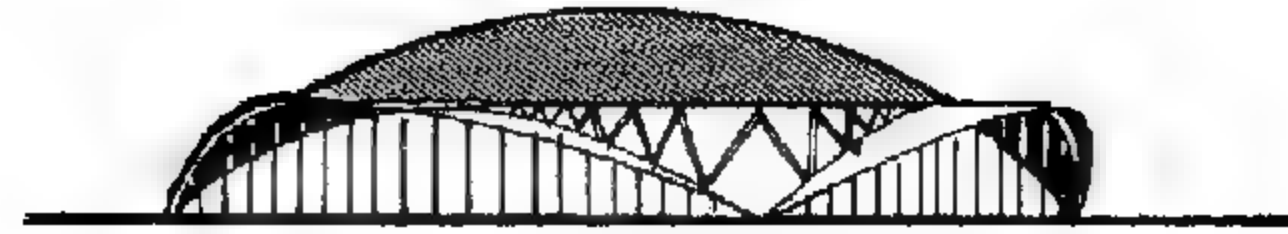
شكل ٣٣٩



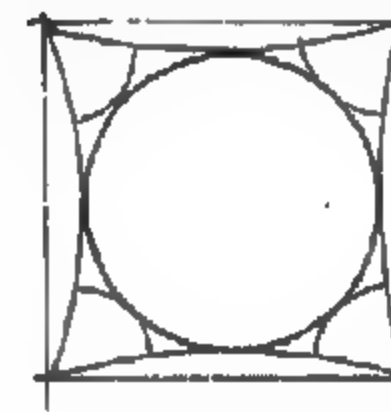
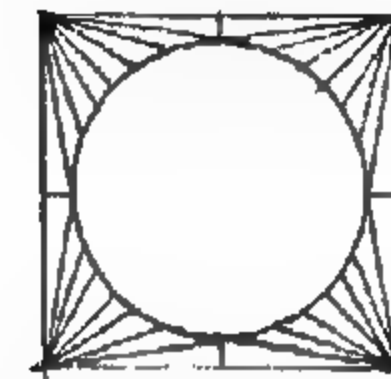
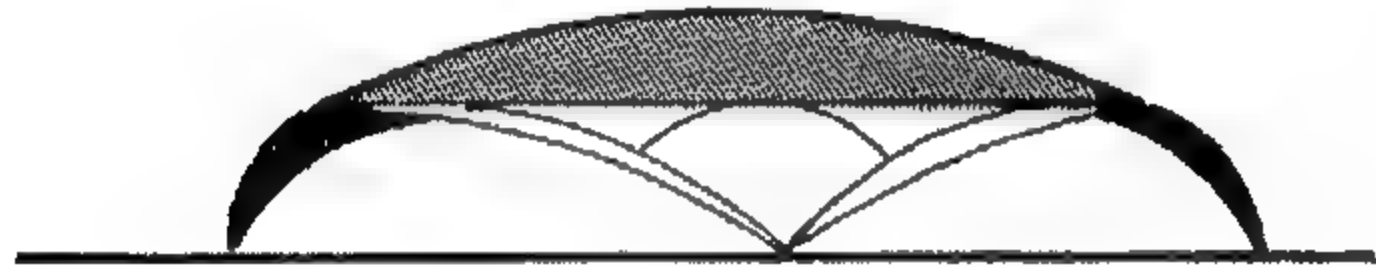
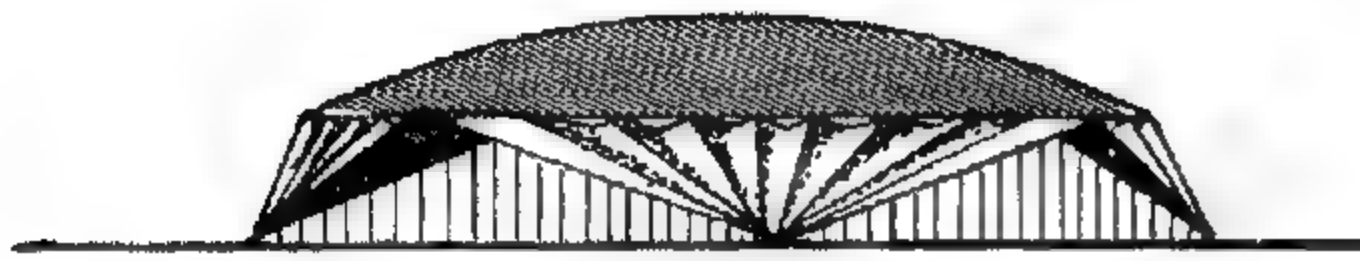
وحدات منطقة في الاتجاهين باستعمال القطاعات

(شكل ٣٣٨) باكيات متكررة
مستمرة من قنات منحنية
مستوية.

(شكل ٣٣٩) تسقيفات منطقة
متعددة الياكيات ذات فتحات
جانبية.



شكل ٣٤٠



شكل ٣٤١

وحدات مزدوجة الانحناء على
مساقط مربعة ومتعددة الأضلاع

(شكل ٣٤٠) قبة على مسقط

مربع باستعمال المقرنصات .

(شكل ٣٤١) قبة على مسقط

مربع باستعمال عقود أو مراوح

حاملة

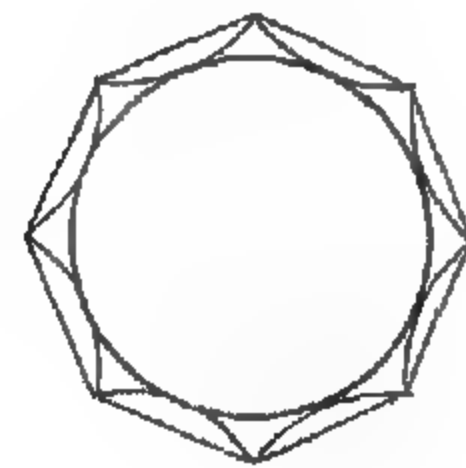
(شكل ٣٤٢) قبة على مسقط

مثنى ذو أعمدة باستعمال عقود

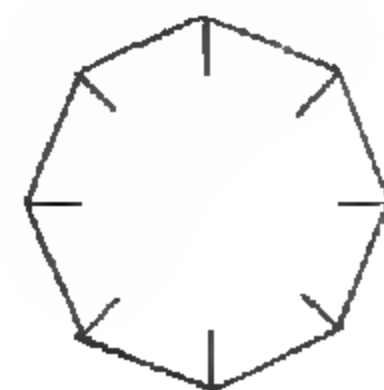
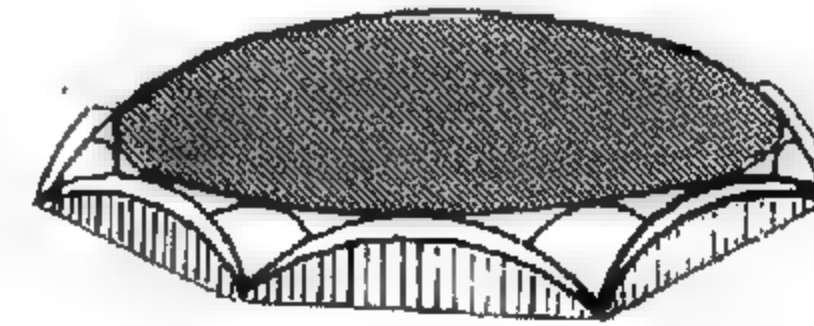
أو مراوح .

(شكل ٣٤٣) قبة دائرية

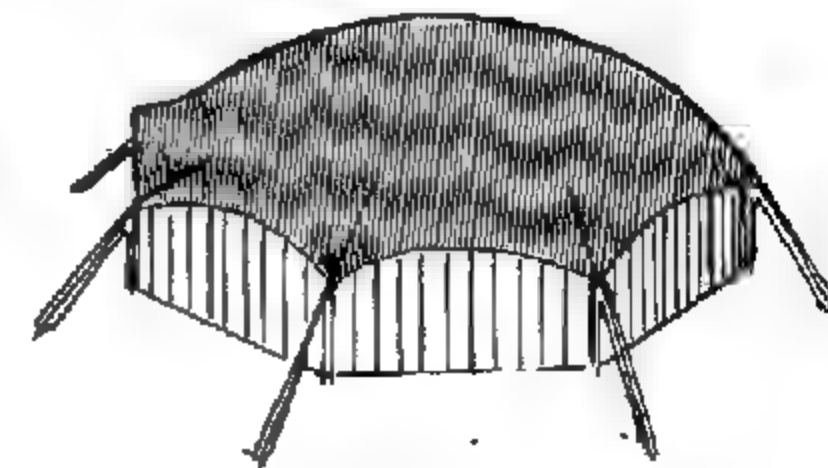
تشكل إلى قاعدة مئذنة .



شكل ٣٤٢



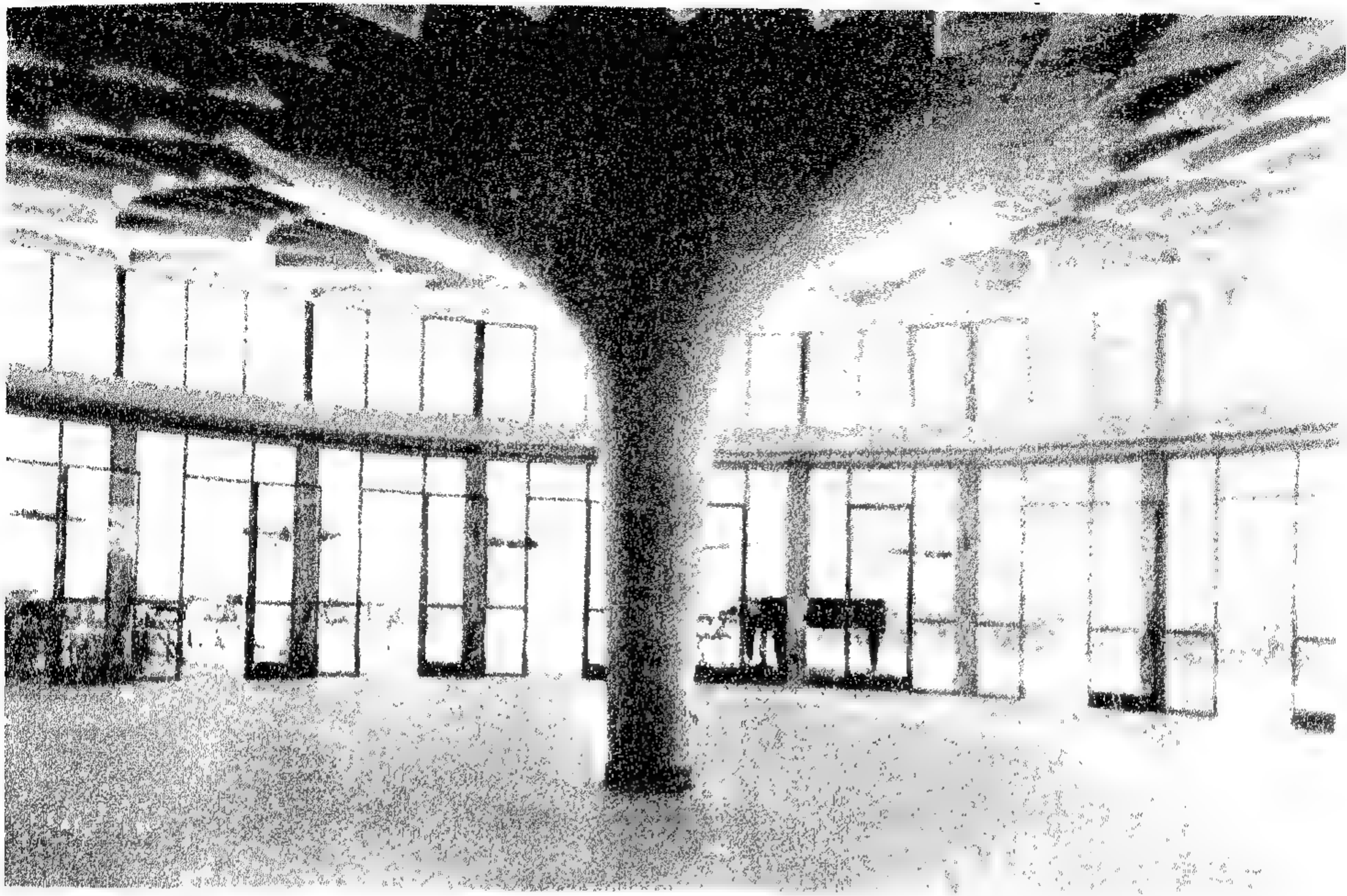
شكل ٣٤٣



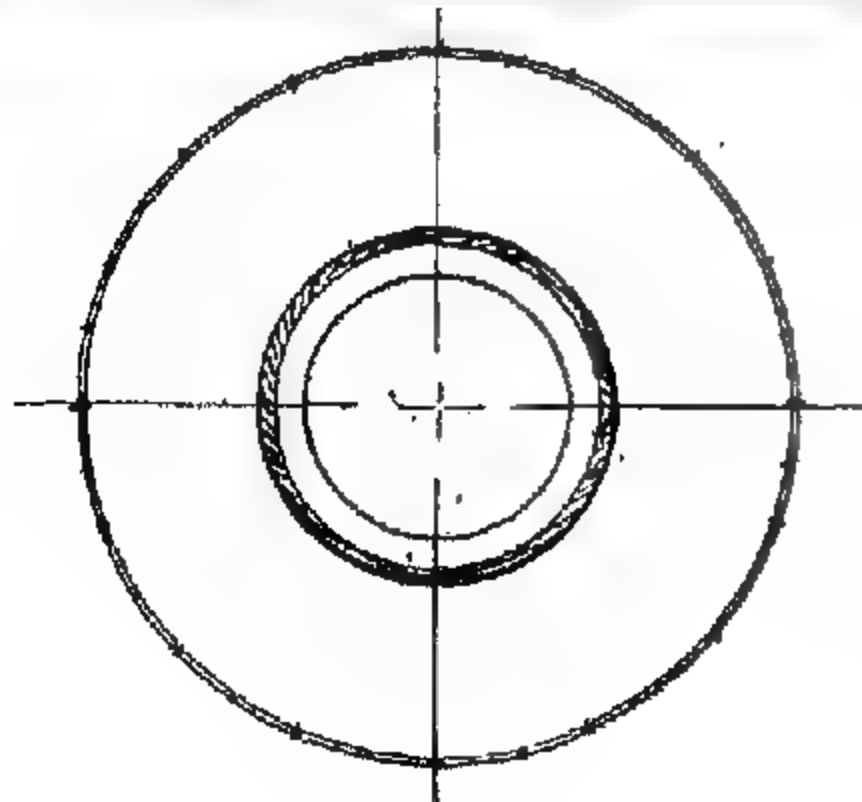
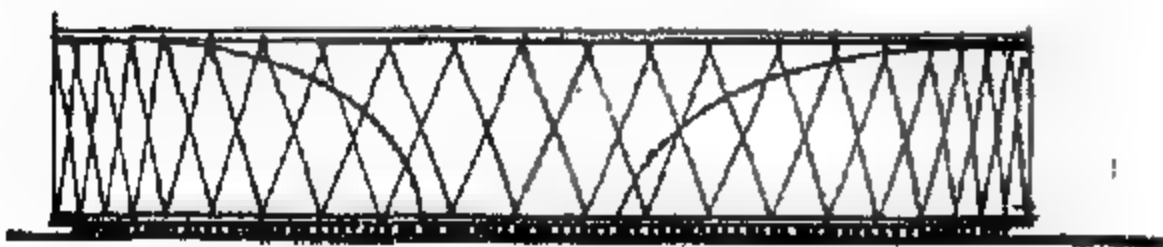


الوحدات المزدوجة الانحناء — مختلفي الإشارة

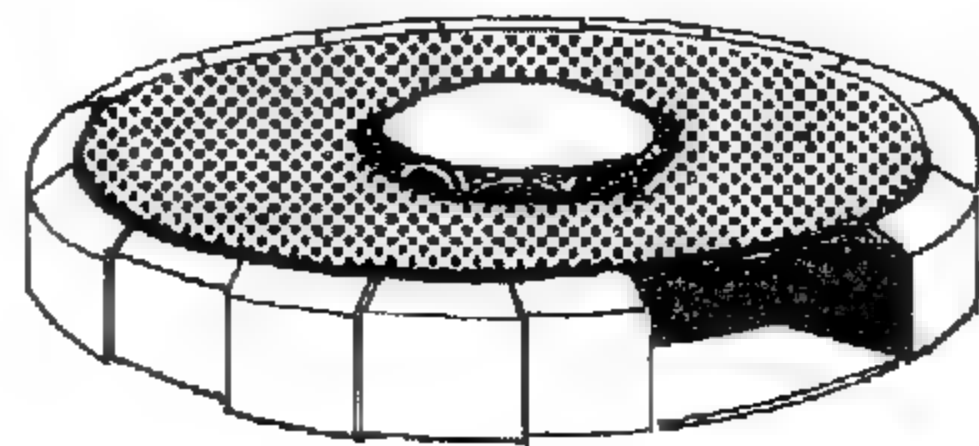
(شكل ٢٤٤) صالة مدخل مبنى
الإدارة في مركز أبحاث شركة
جنسون وأولاده في راسين
بولاية وسكنسن (المهندسين
المصممين فرانك لويد رايت)



شكل ٣٤٧

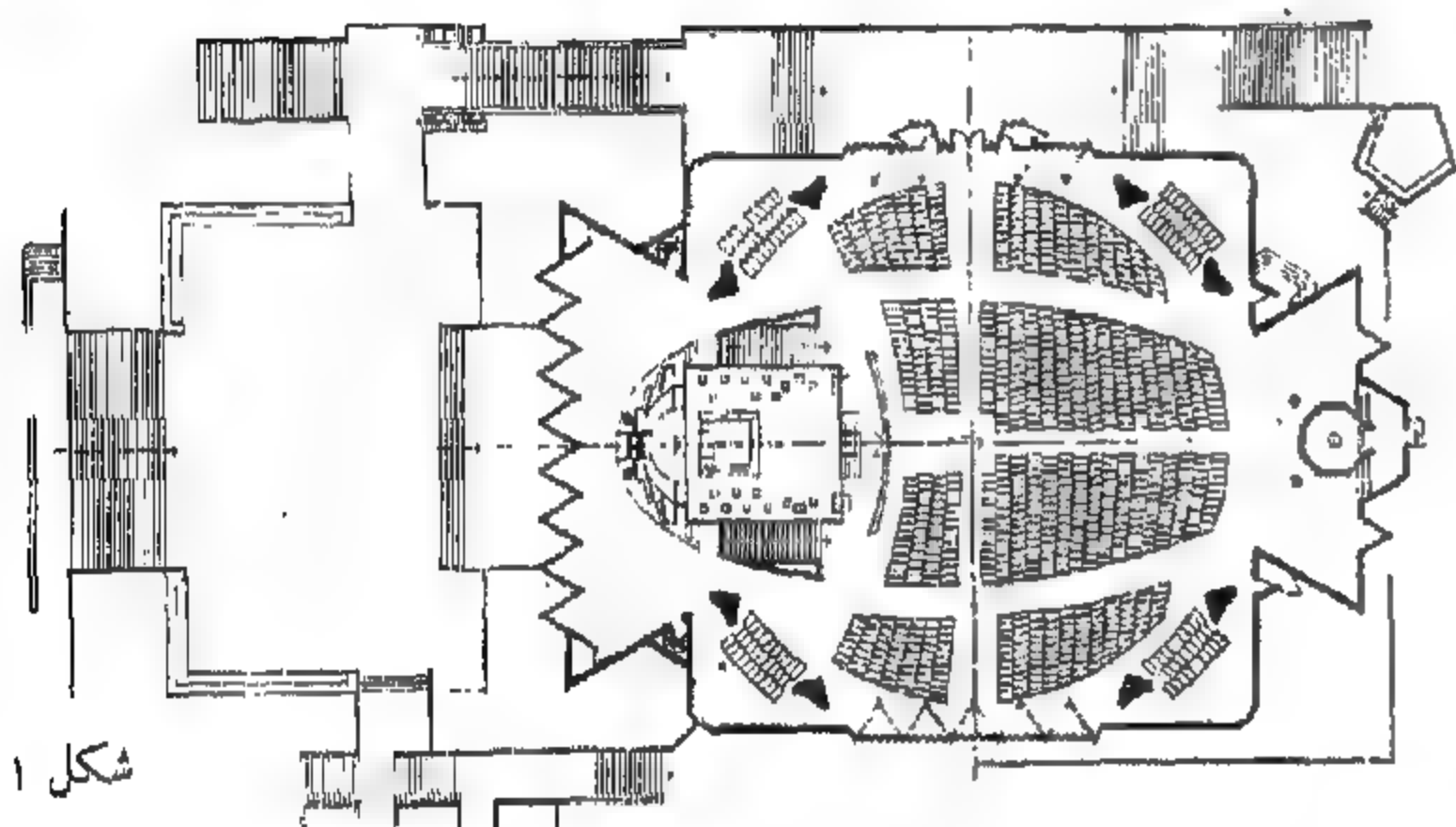
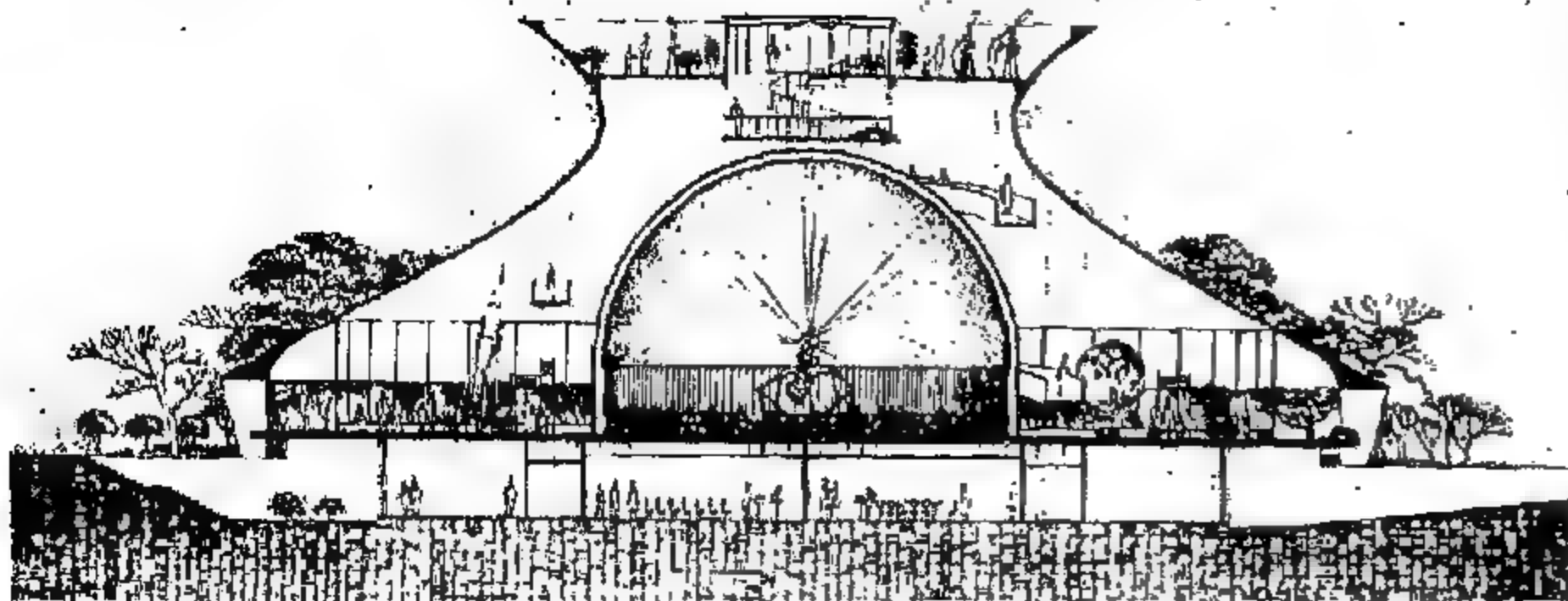


شكل ٣٤٦



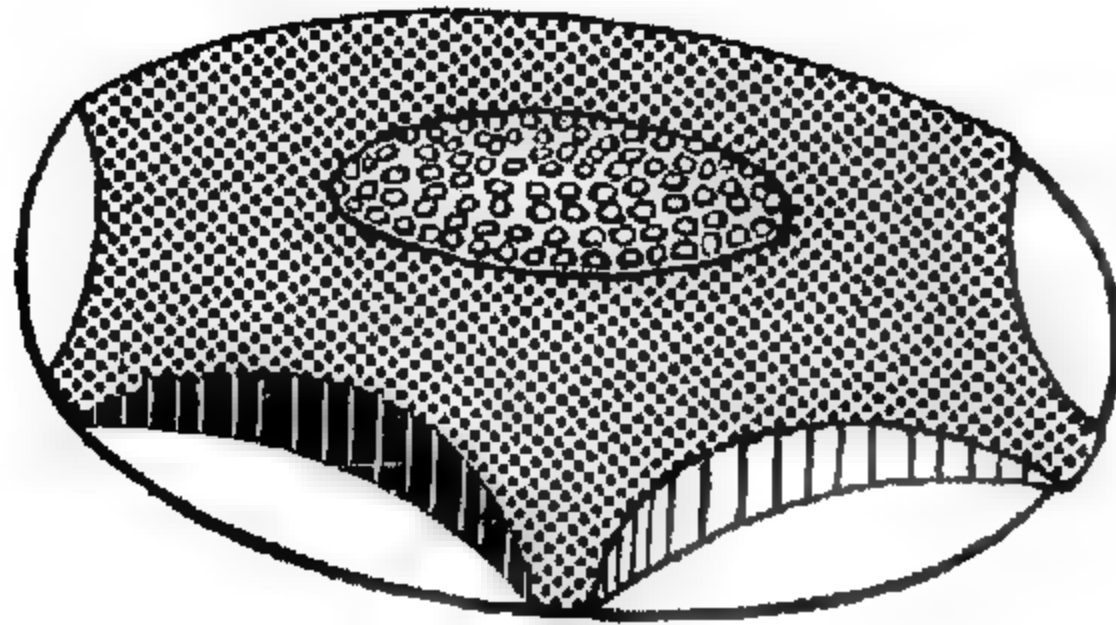
شكل ٣٤٥

(شكل ٣٤٥) فراغات واسعة تحت
سقف مشروحي لحظائر الطائرات.
الفراغ الأوسط يمكن استغلاله
لوحيدات الخدمة أو التخزين .
(شكل ٣٤٦) فراغات عامة
خالية من الأعمدة الخارجية
للمعارض وصلالات الطعام وغيرها.
(شكل ٣٤٧) مطعم الكورسال
في أليدو بروما سنة ١٩٥٠
(المعمارى أتيلىو لاباتولا
والإنشائى بيلر لويجي فيرى)



الوحدات المزدوجة الانحناء (مختلفي الإشارة)

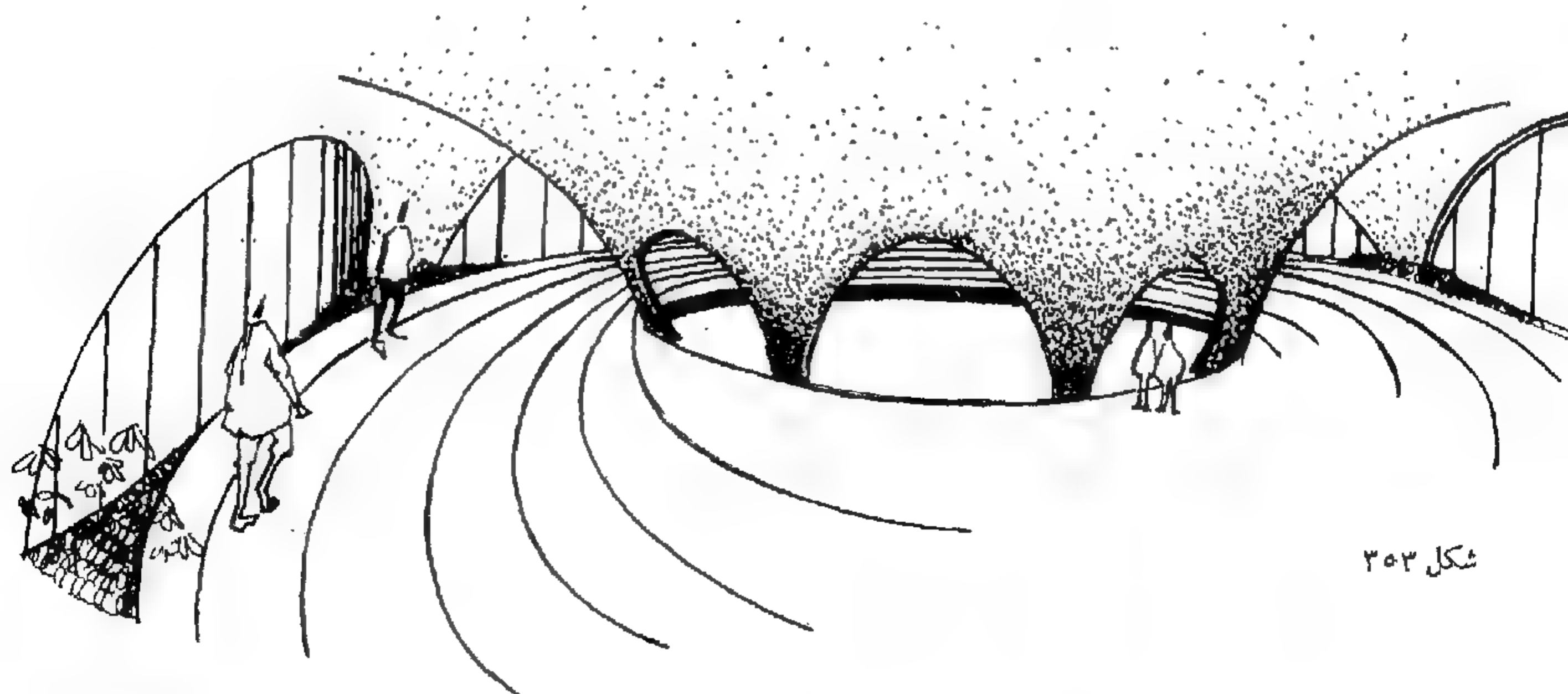
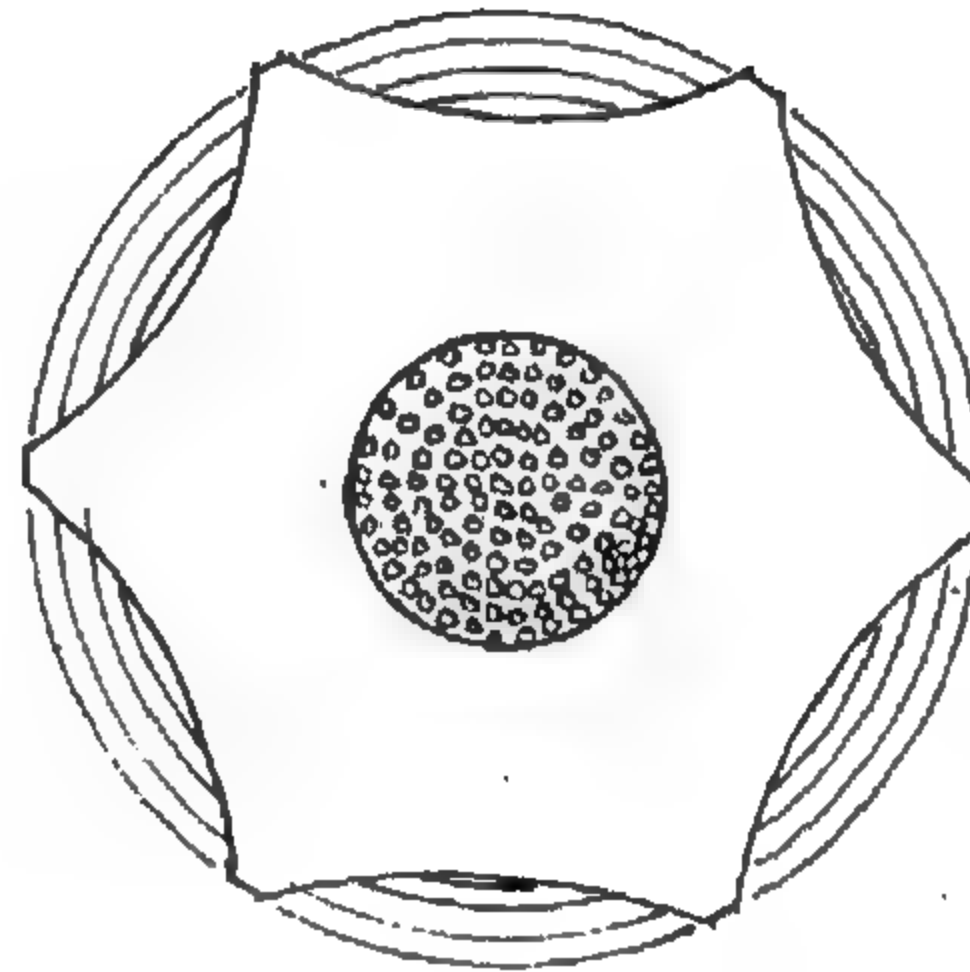
- (شكل ٣٤٨) مرصد فلكي بسانت لويس (المماريون هيلموت و واويانا وكاساباوم) .
- (شكل ٣٤٩) قطاع بالغلاف الخارجي والقبة الداخلية .
- (شكل ٣٥٠) كندراية الجزائر - منظر عام .
- (شكل ٣٥١) مسقط أفق الكندراية .



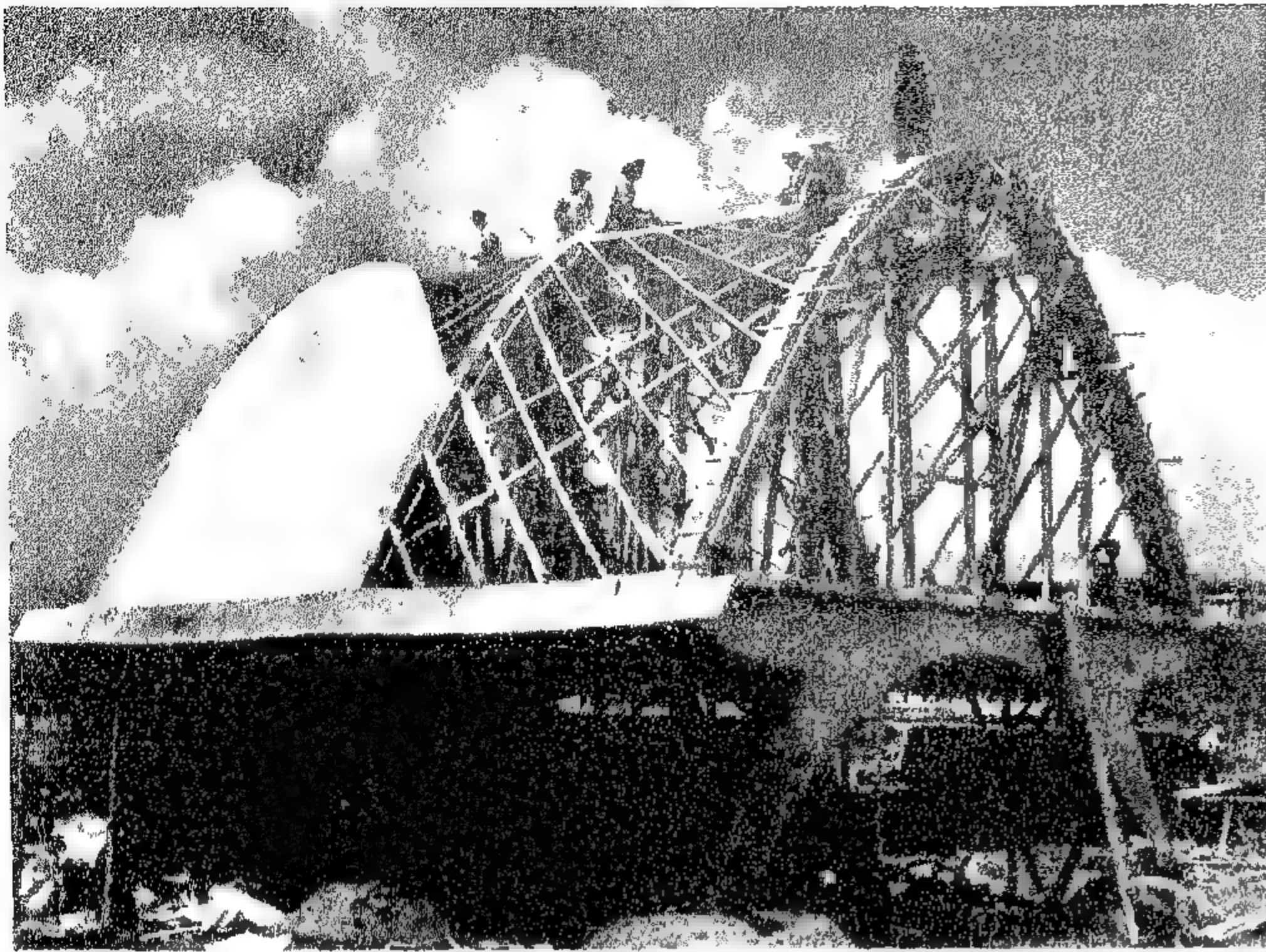
شكل ٣٥٢

الوحدات مزدوجة الأحناء — القبو الحلقى

(شكل ٣٥٢) قبو حلقى حول
فناء مغطى بقبة زجاجية .
(شكل ٣٥٣) منظور داخلى
للقبو الحلقى بالفتحات على الفناء
الداخلى .



شكل ٣٥٣



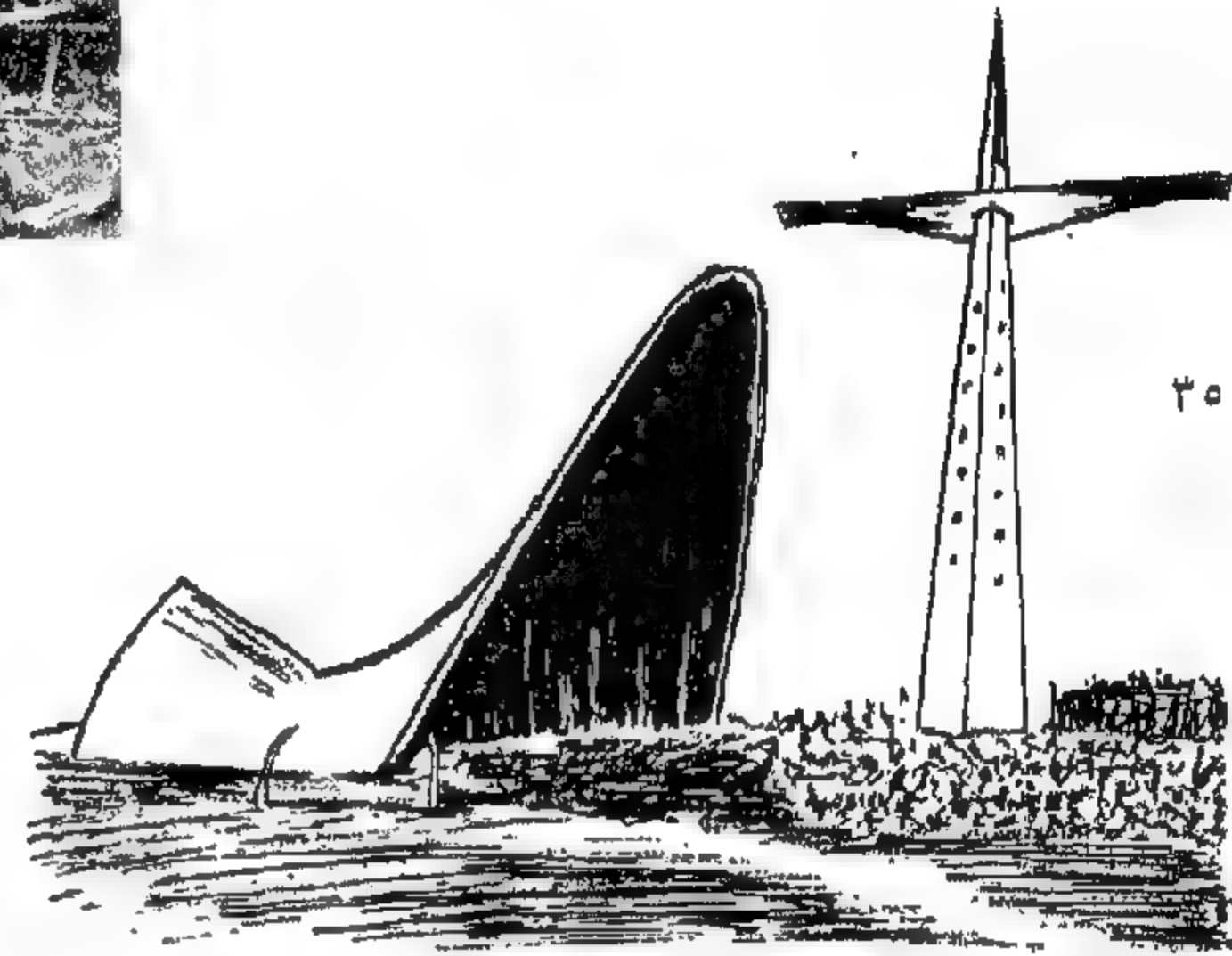
شكل ٣٥٤

وحدات القطع الزائدي المكافئ

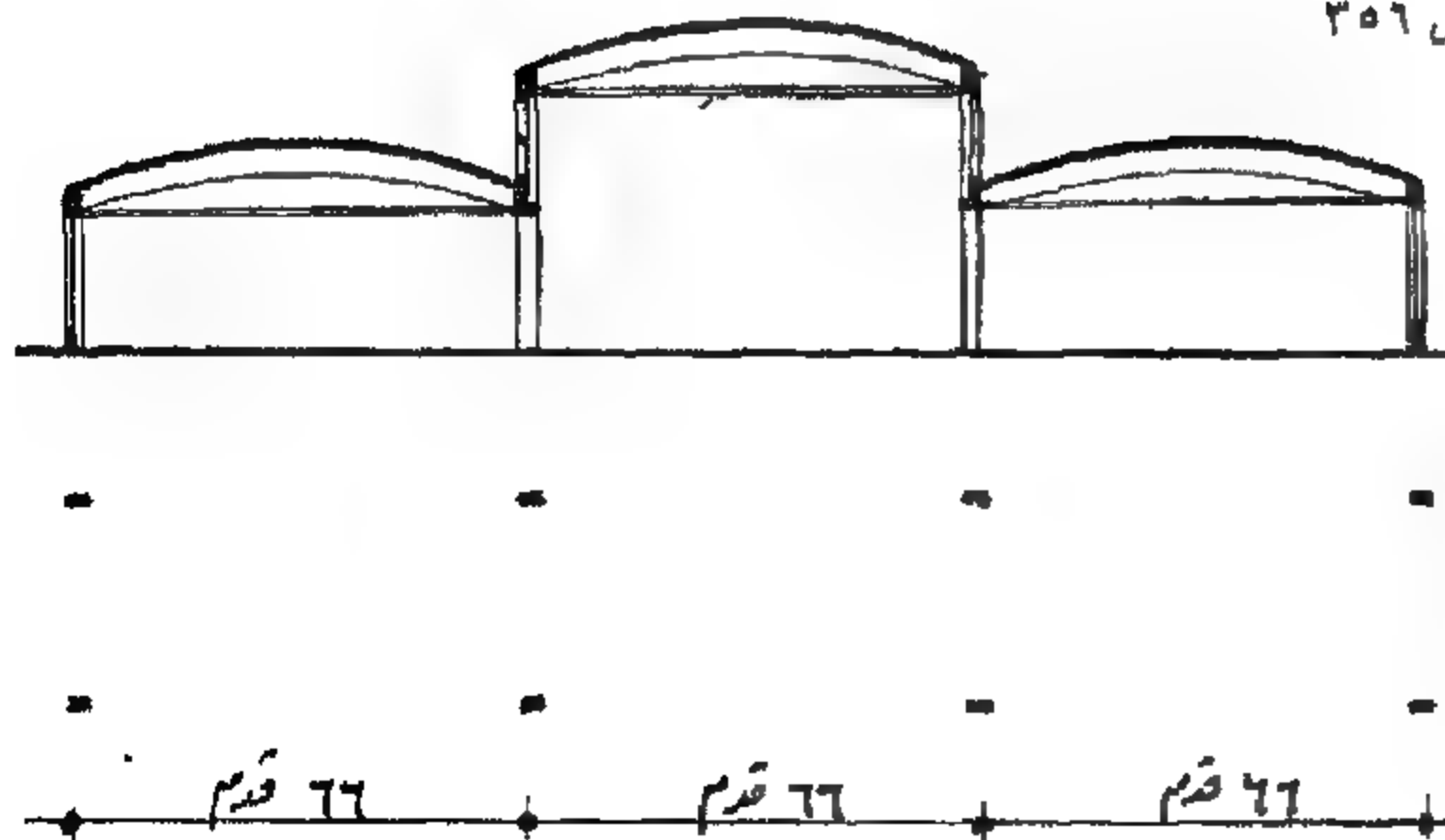
(شكل ٣٥٤) معمل الأشعة الكونية بالجامعة المكسيكية بمدينة مكسيكو - المهندس فيليكس كاندلا .

(شكل ٣٥٥) كنيسة لاس لوماس في كويرنفاكا بمكسيكو (المعماريين جويلاروسل ومانويل لاروزا والإنشائي كاندلا) .

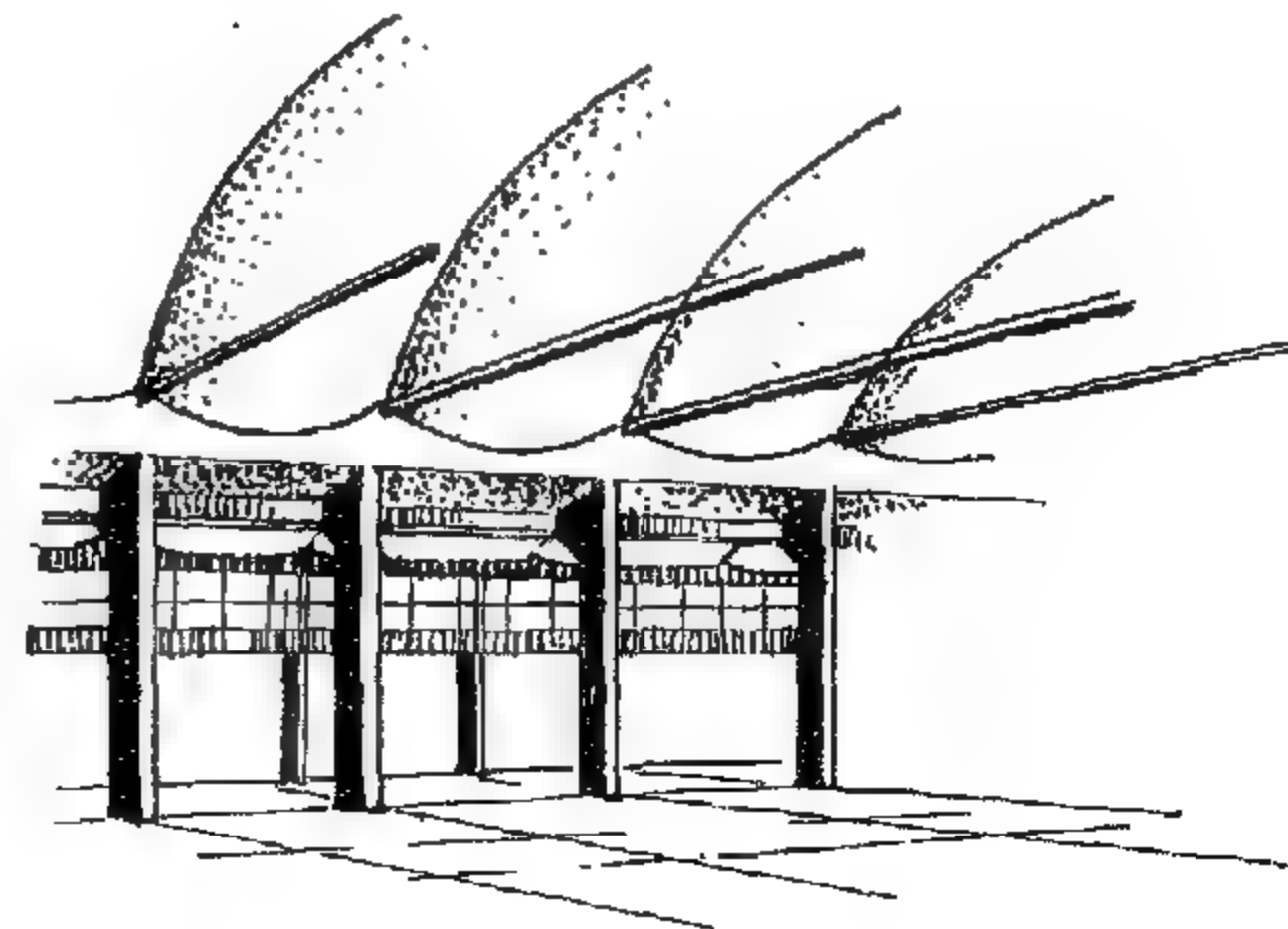
(شكل ٣٥٦) مخزن منتجات صناعية ومصبغة في تشيكوسلوفاكيا ذات أسقف من وحدات قطاع زائدي مكافئ . (المهندس الإنشائي كونارد هروبان) .



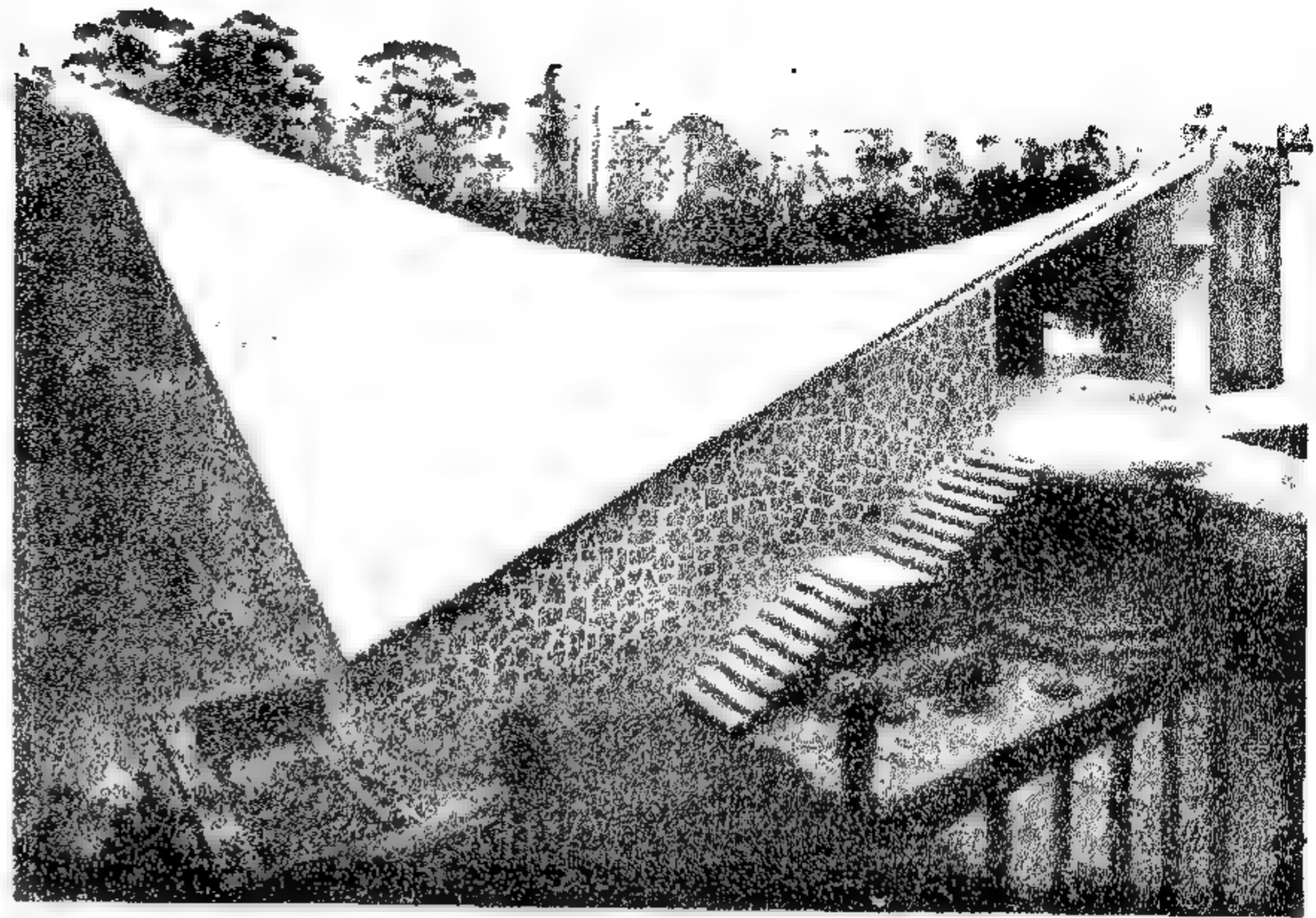
شكل ٣٥٥



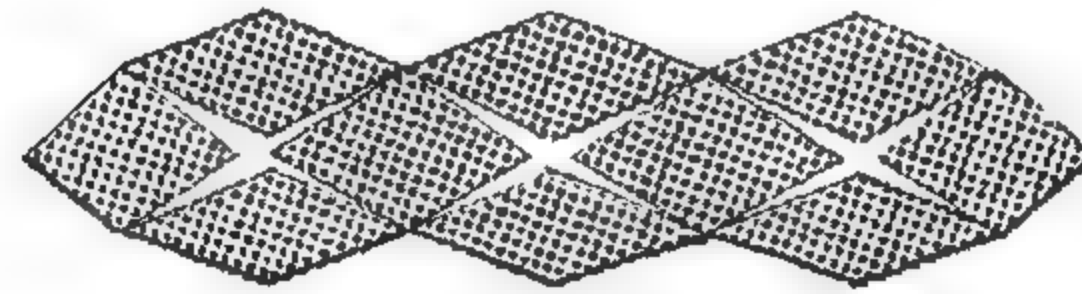
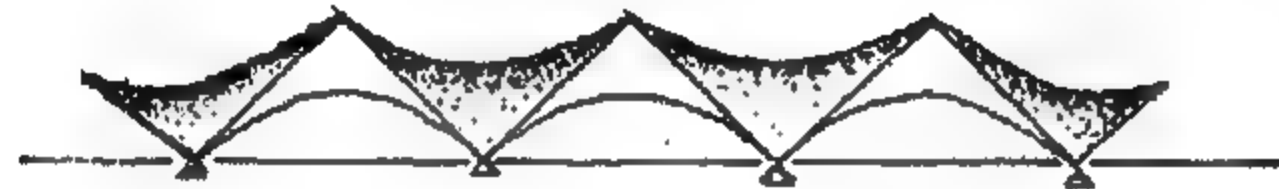
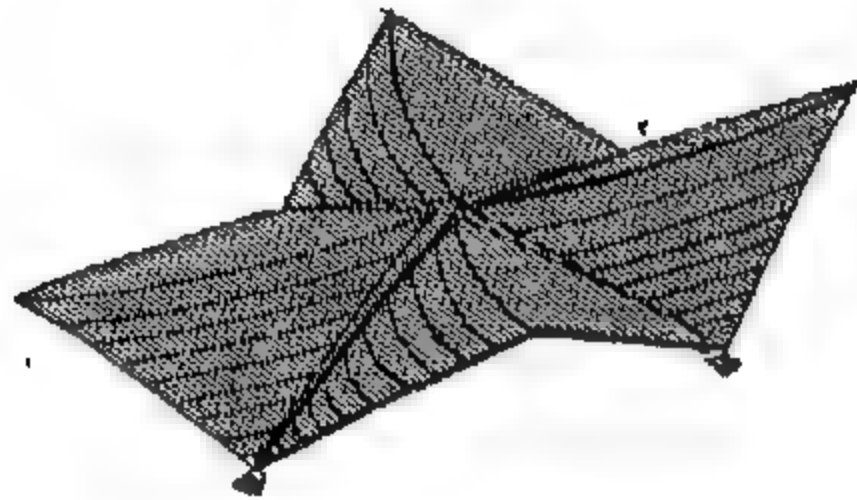
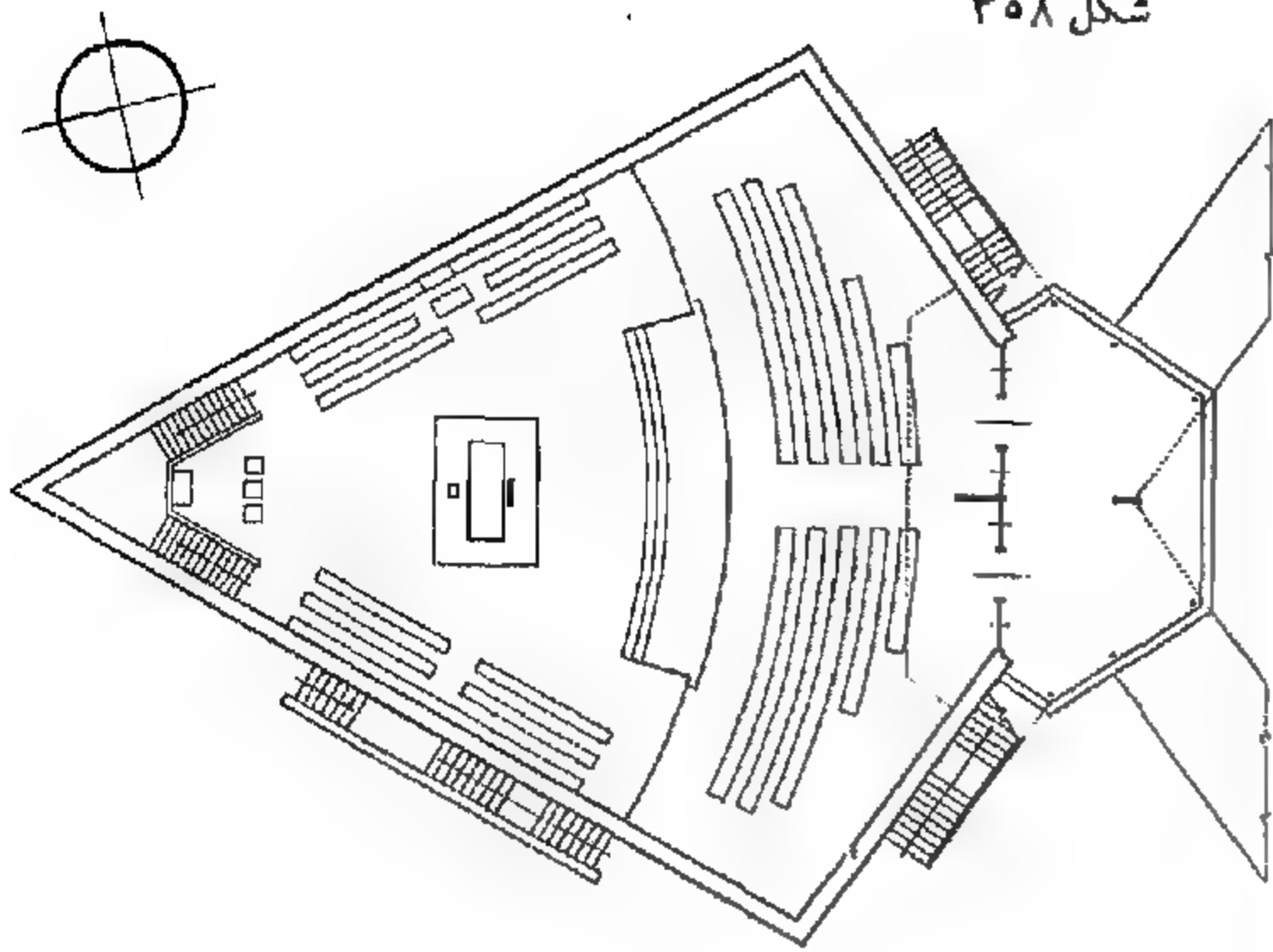
شكل ٣٥٦



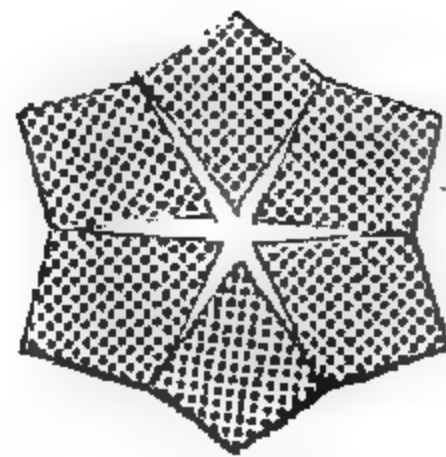
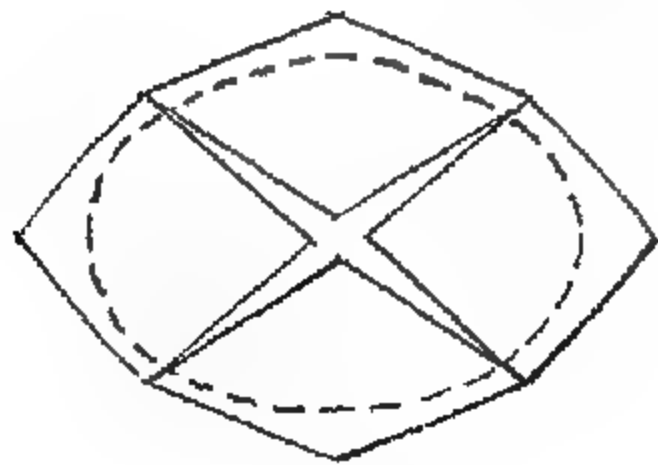
شكل ٣٥٧



شكل ٣٥٨



شكل ٣٥٩

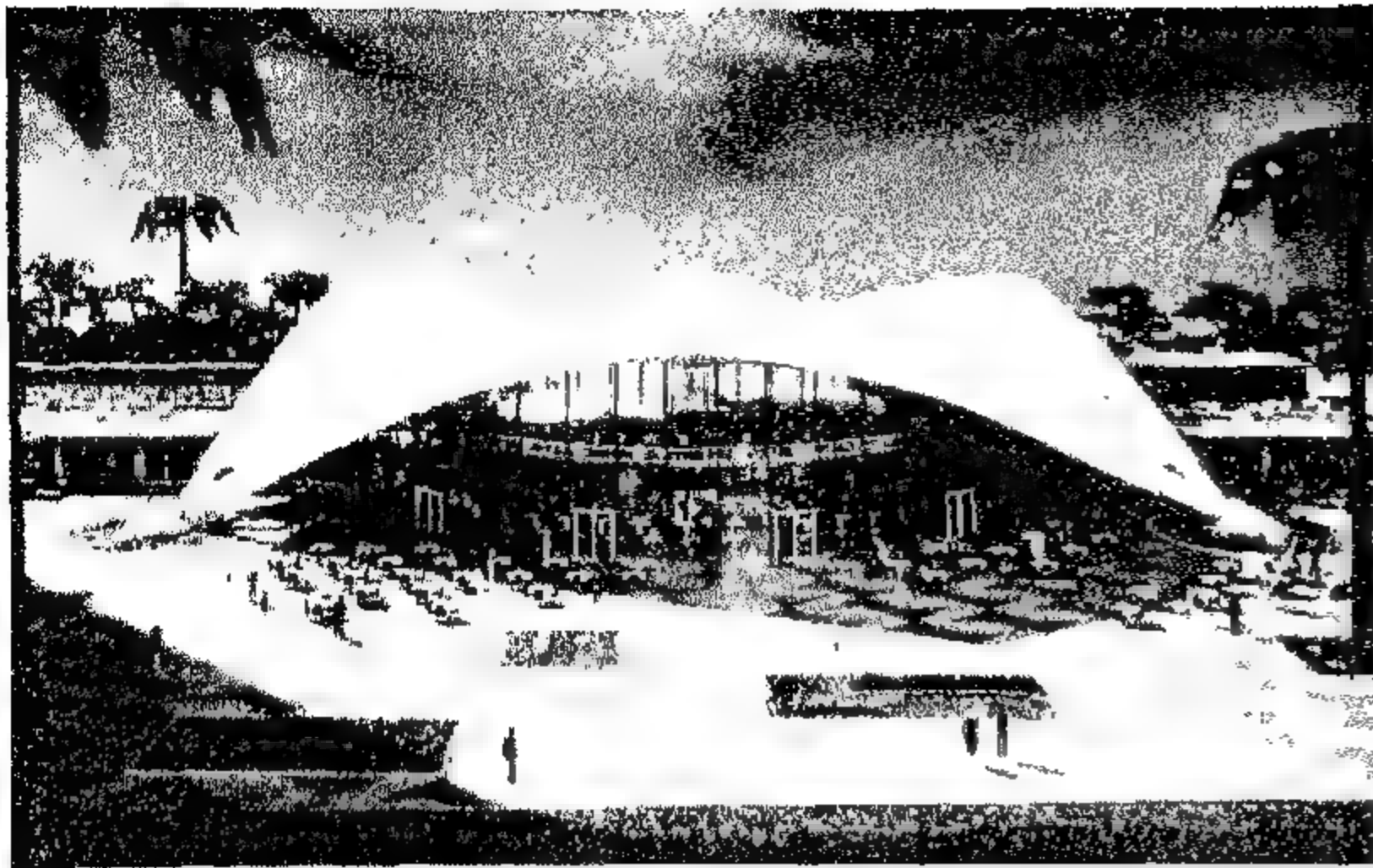


وحدات قطاع زائدي مكافئ مفردة أو مجمعة

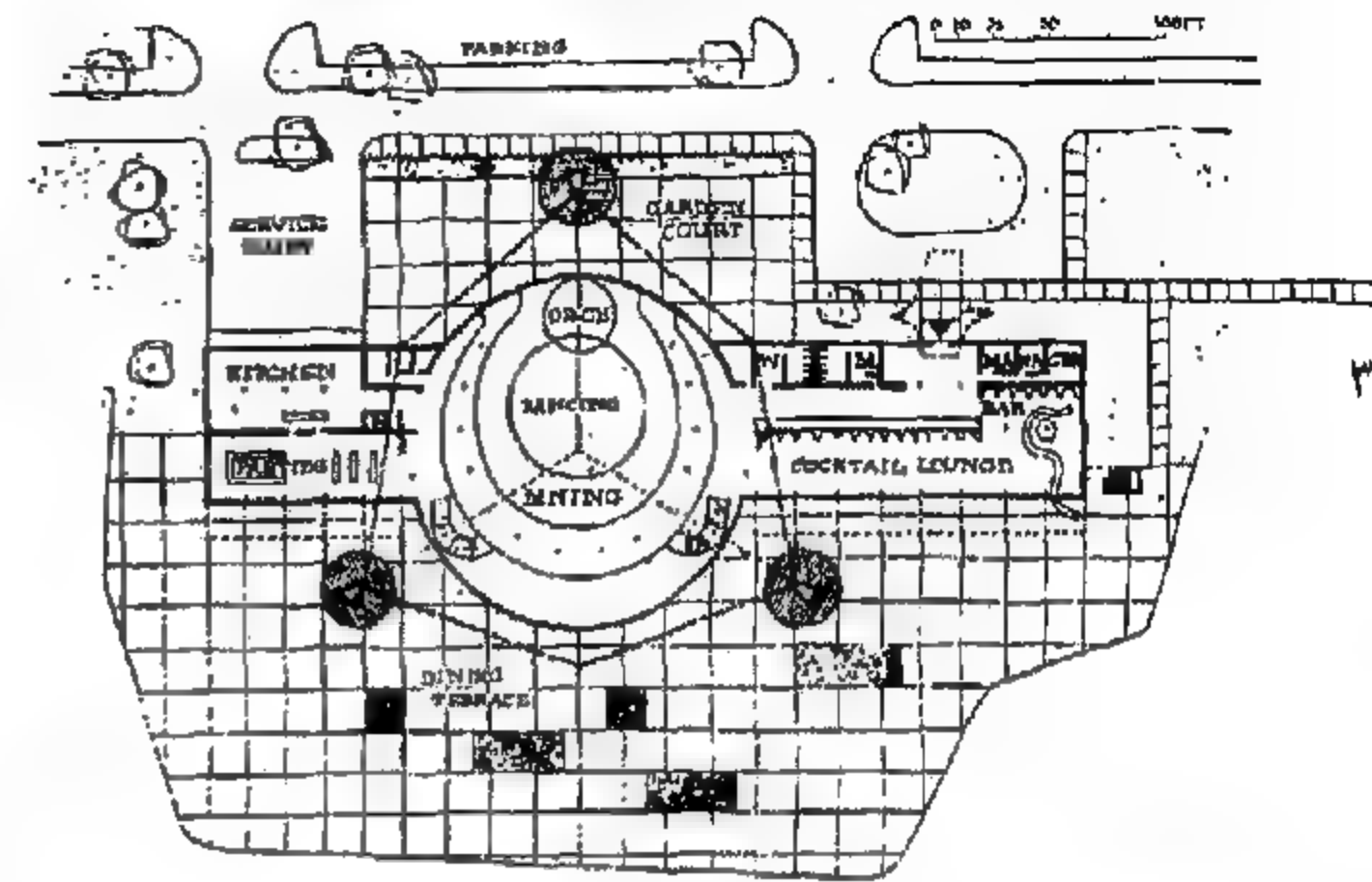
(شكل ٣٥٧) كنيسة نيوسترا سنورا دي
لا سوليداد (في مكسيكو المعماري لامورا
وشركاء والإنشائي كاندلا).
(شكل ٣٥٨) مسقط أفقي للكنيسة.
(شكل ٣٥٩) استعمالات للوحدات على مناطق
مستطيلة ومربعة ومتعددة الأضلاع.



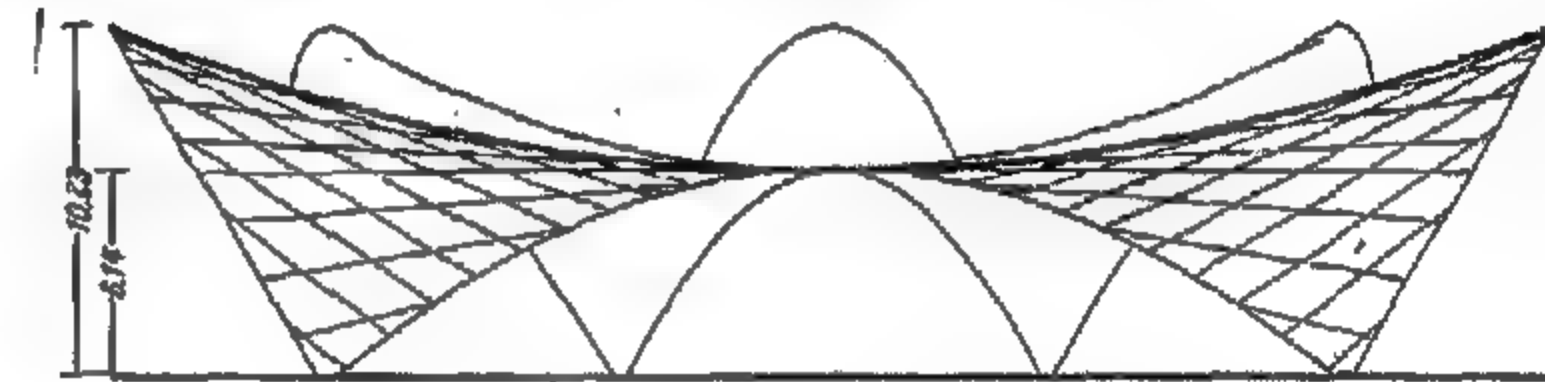
شكل ٣٦٠



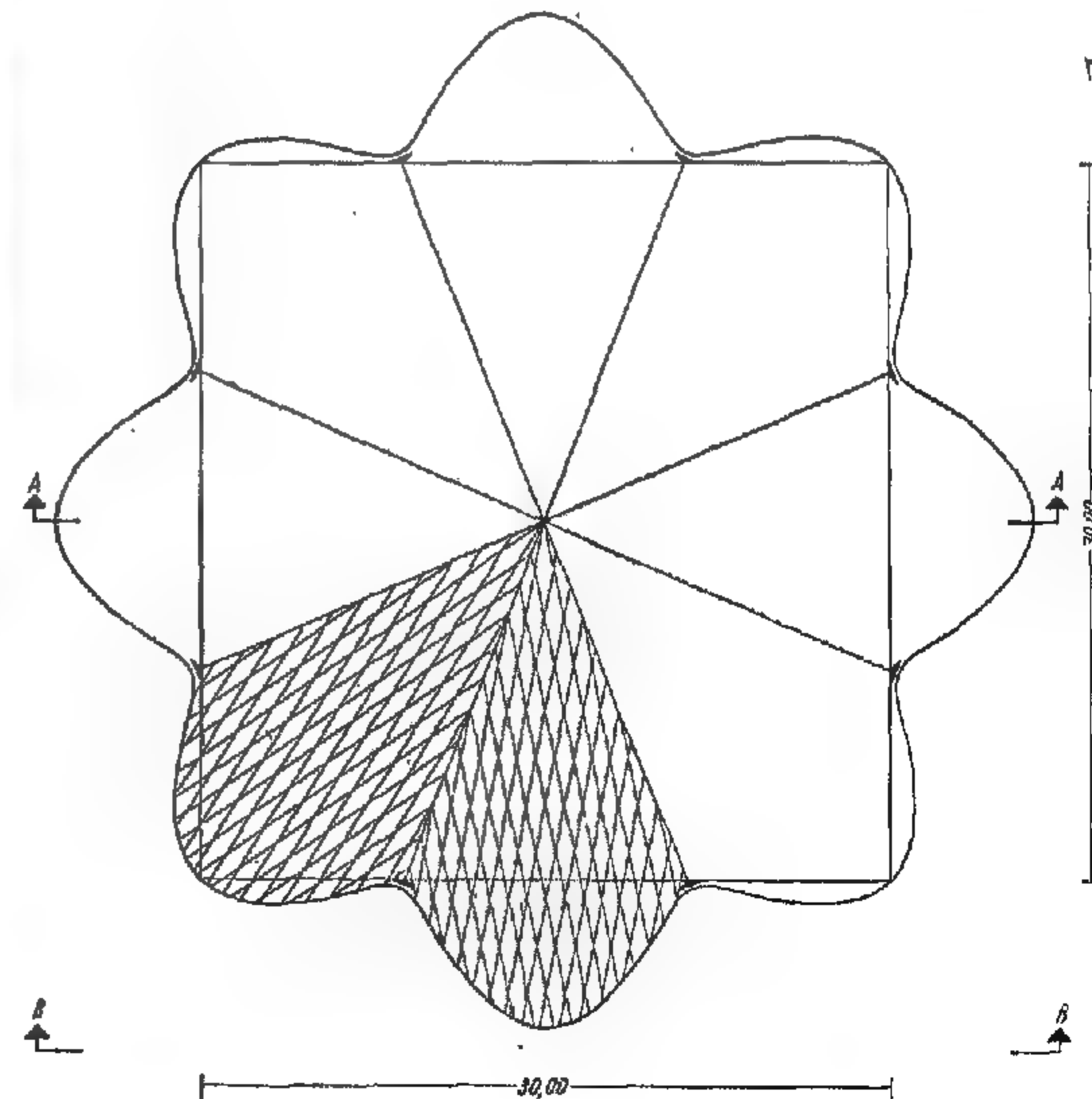
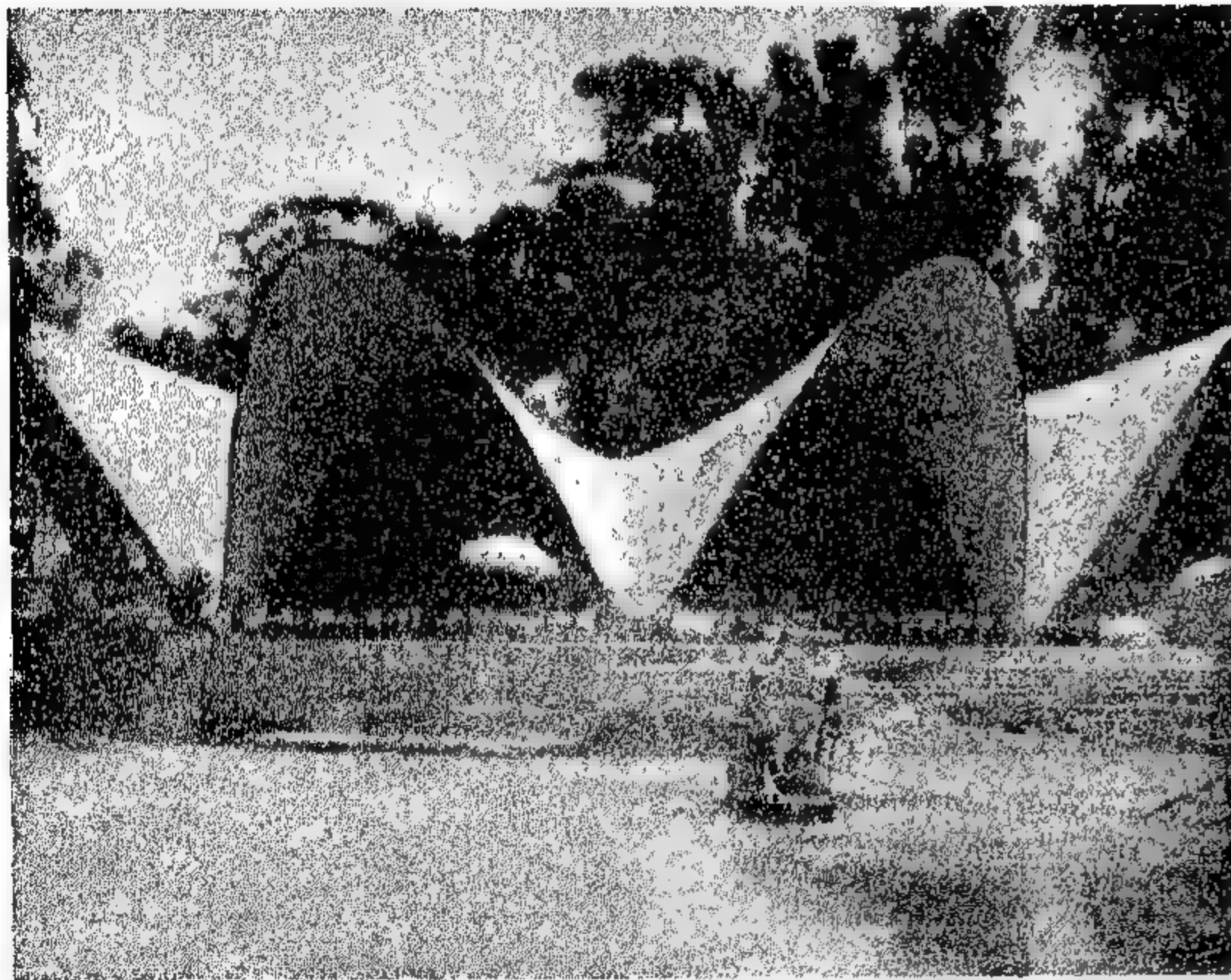
شكل ٣٦١



شكل ٣٦٢



شكل ٣٦٣



شكل ٣٦٤

تجميعات وحدات قطاع زائدي مكاني

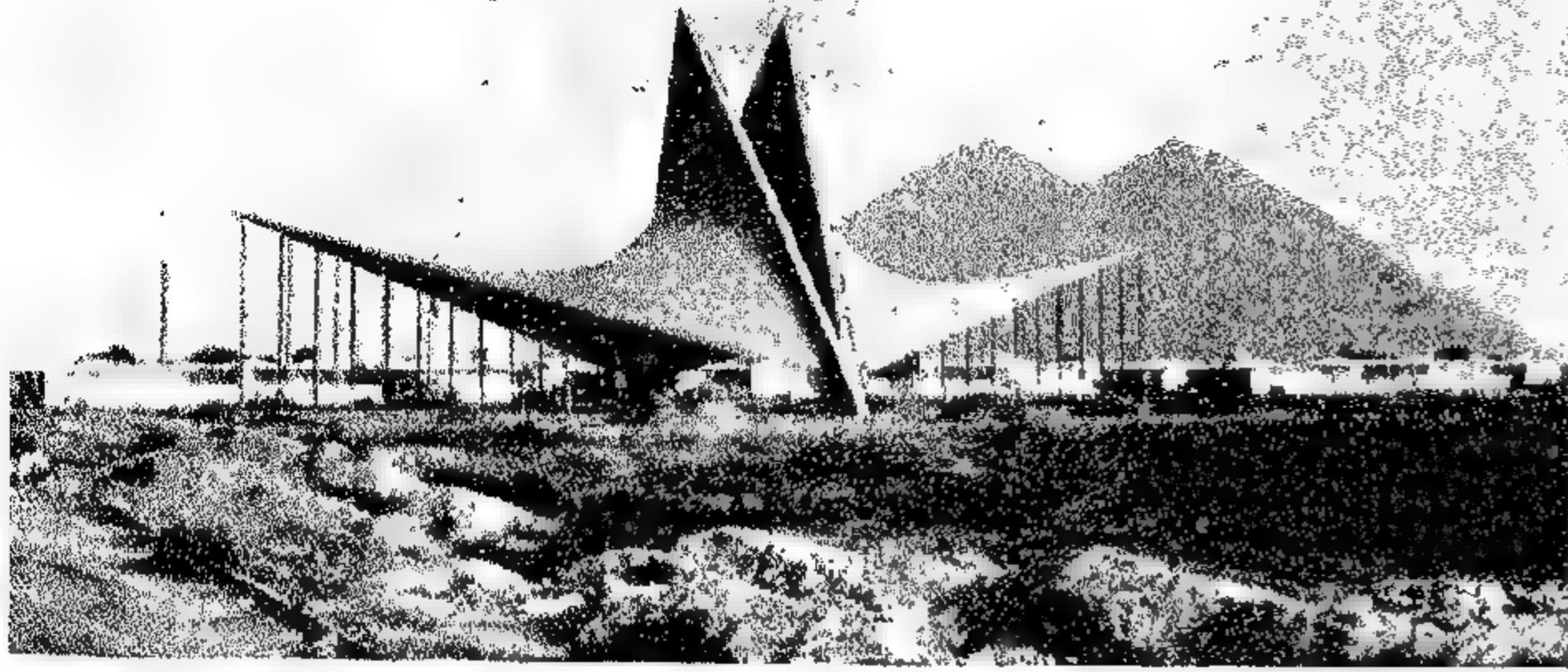
(شكل ٣٦٠) مشروع مطعم وفندق عشاء في لونغ بيتش كاليفورنيا - المعماريين ريموند وراود والإنشائيين ويدلنجر والقادوري .

(شكل ٣٦١) الواجهة الغربية للمطعم .

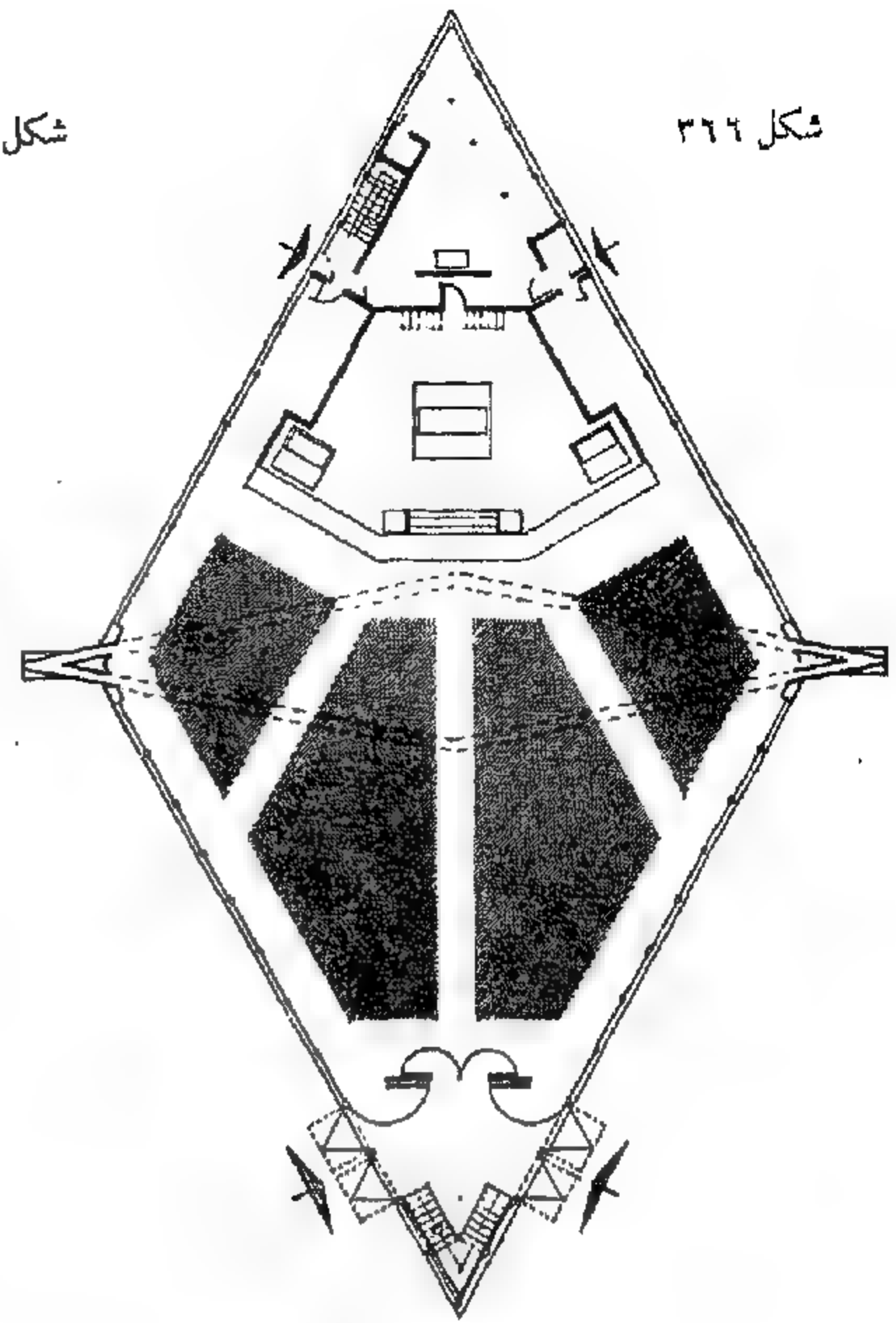
(شكل ٣٦٢) مسقط أفق للمطعم .

(شكل ٣٦٣) مطعم لوس مانتيس في أكسكلو بمكسيكو (المعماري أوردونيز والإنشائي كندلا) .

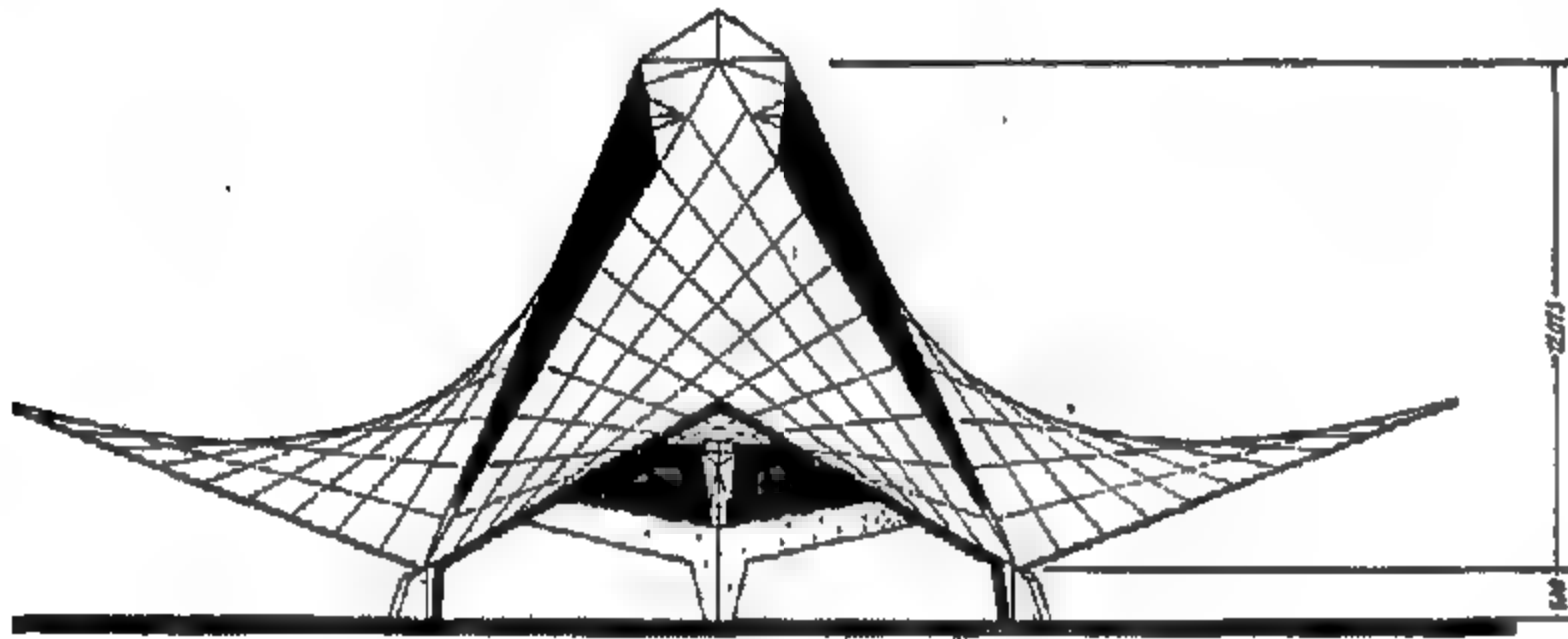
(شكل ٣٦٤) مسقط أفق وواجهة .



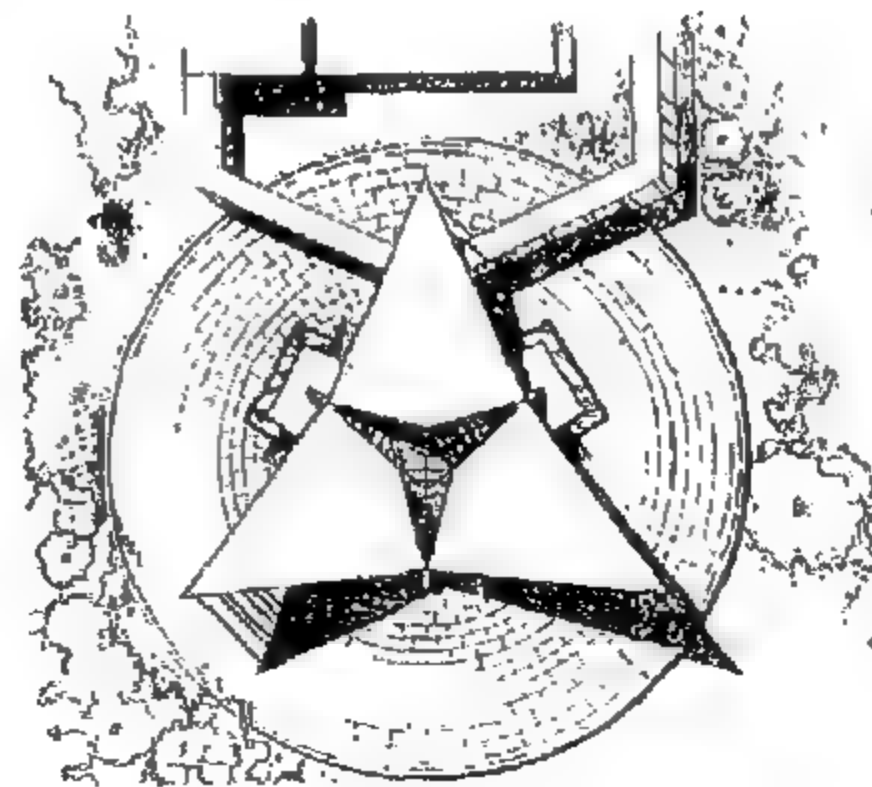
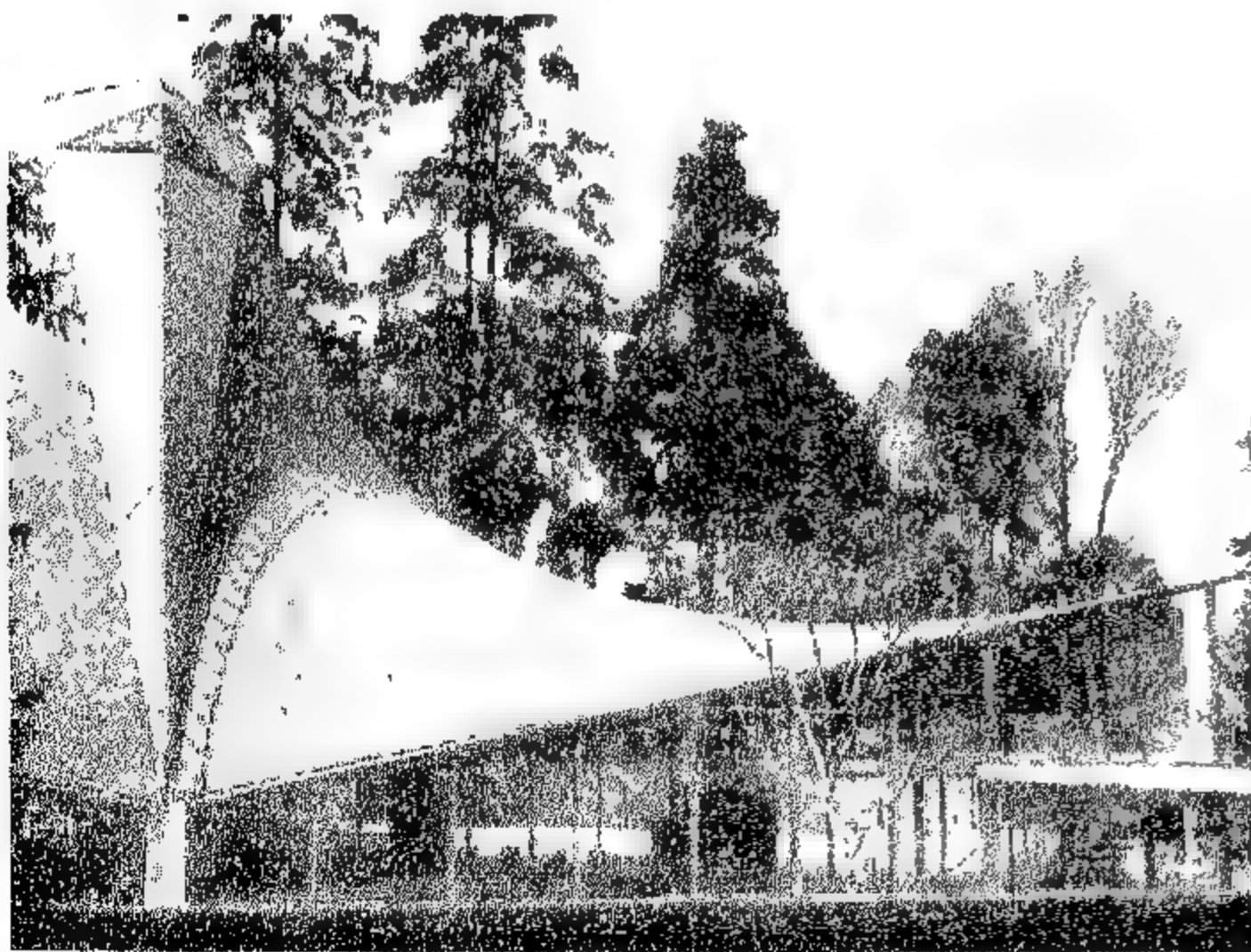
شكل ٣٦٥



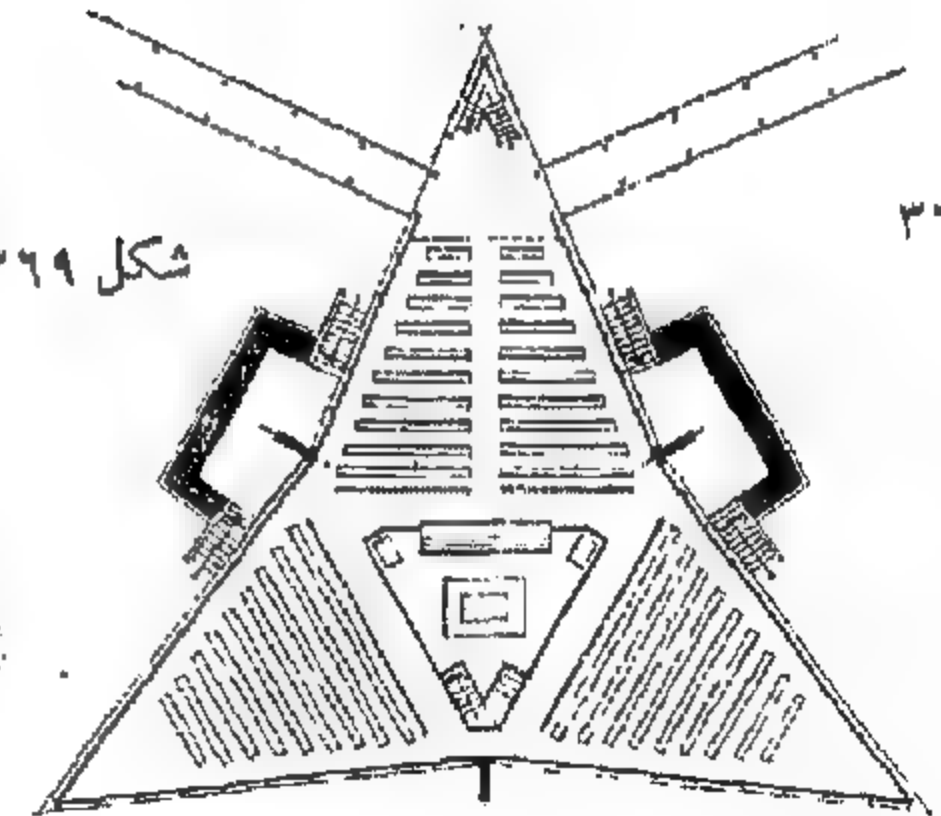
شكل ٣٦٦



شكل ٣٦٧



شكل ٣٦٩

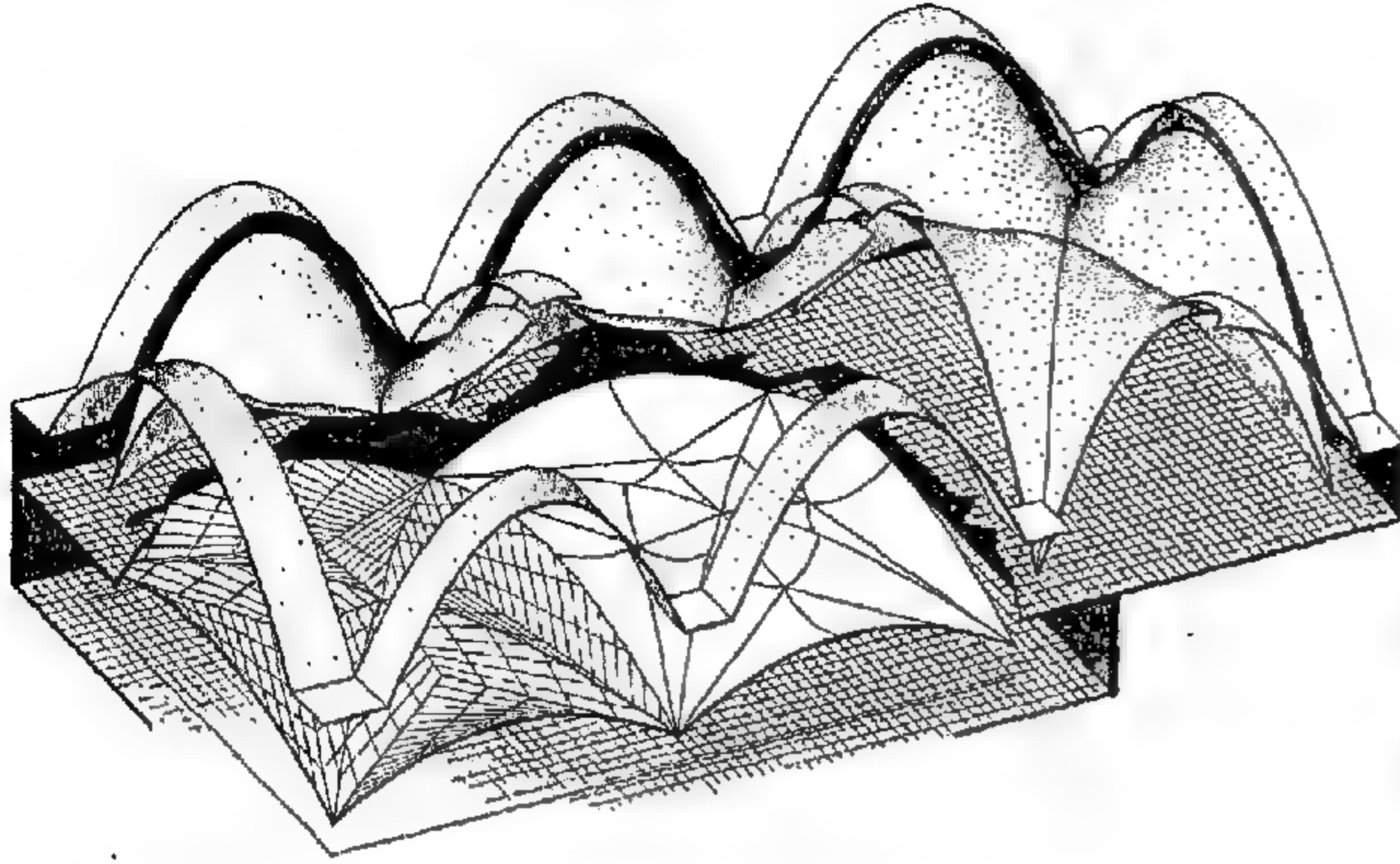


شكل ٣٦٨

تجميعات وحدات قطاع زائدي مكافئ

أعمال المعماري لامورا والإشراف كاندلا

- (شكل ٣٦٥) كنيسة سان جوزية أوبريرو بمدينة مونترى بمكسيكو.
- (شكل ٣٦٦) مسقط أفقي للكنيسة.
- (شكل ٣٦٧) واجهة كنيسة سانت فنسنت في كويواسان في مكسيكو.
- (شكل ٣٦٨) مسقط للدور الأرضي.
- (شكل ٣٦٩) مسقط عام للموقع.
- (شكل ٣٧٠) واجهة.



شكل ٣٧١

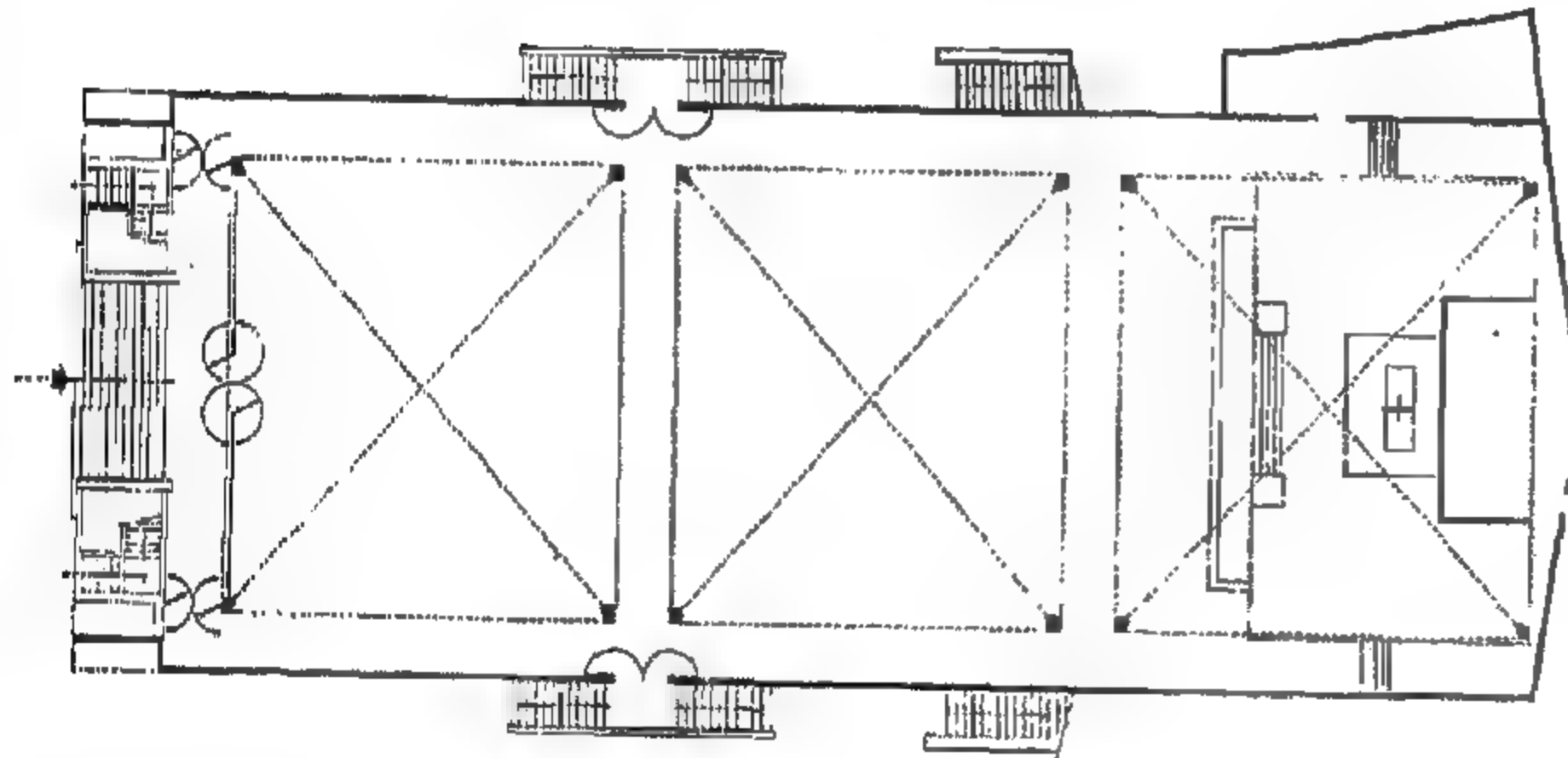


تجميعات وحدات قطاع زائدي مكافئ

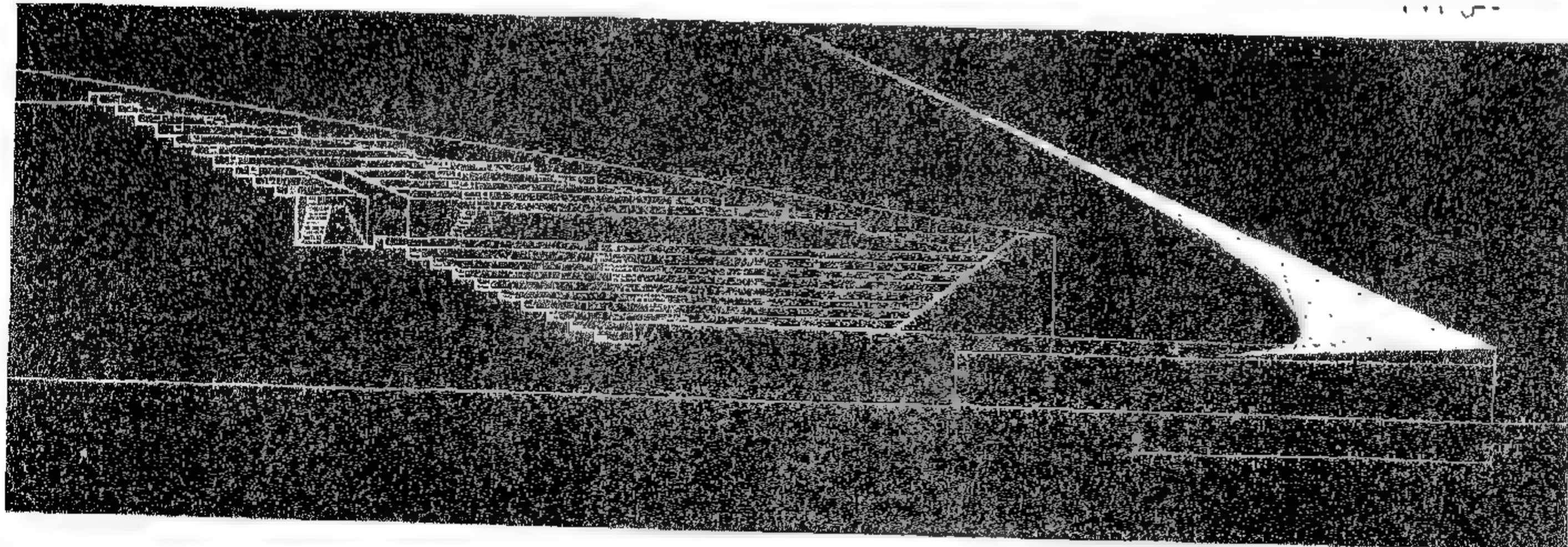
(شكل ٣٧١) منظور مسقط أفق لكنيسة سان أنطونيو
دي لاس هورتاس بمدينة تاكوبا بمكسيكو
(المعماري لامورا والإنشائي كاندلا).

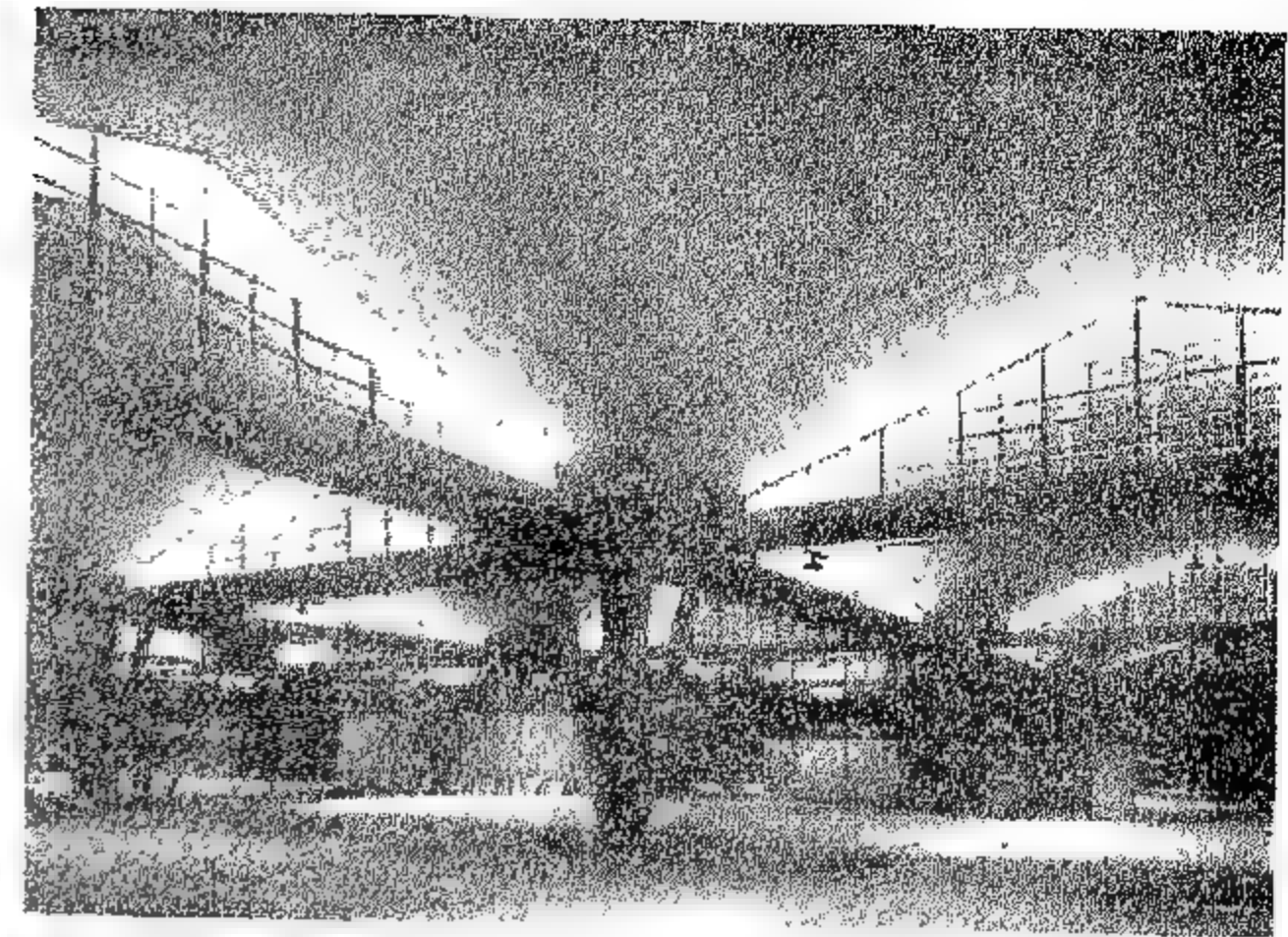
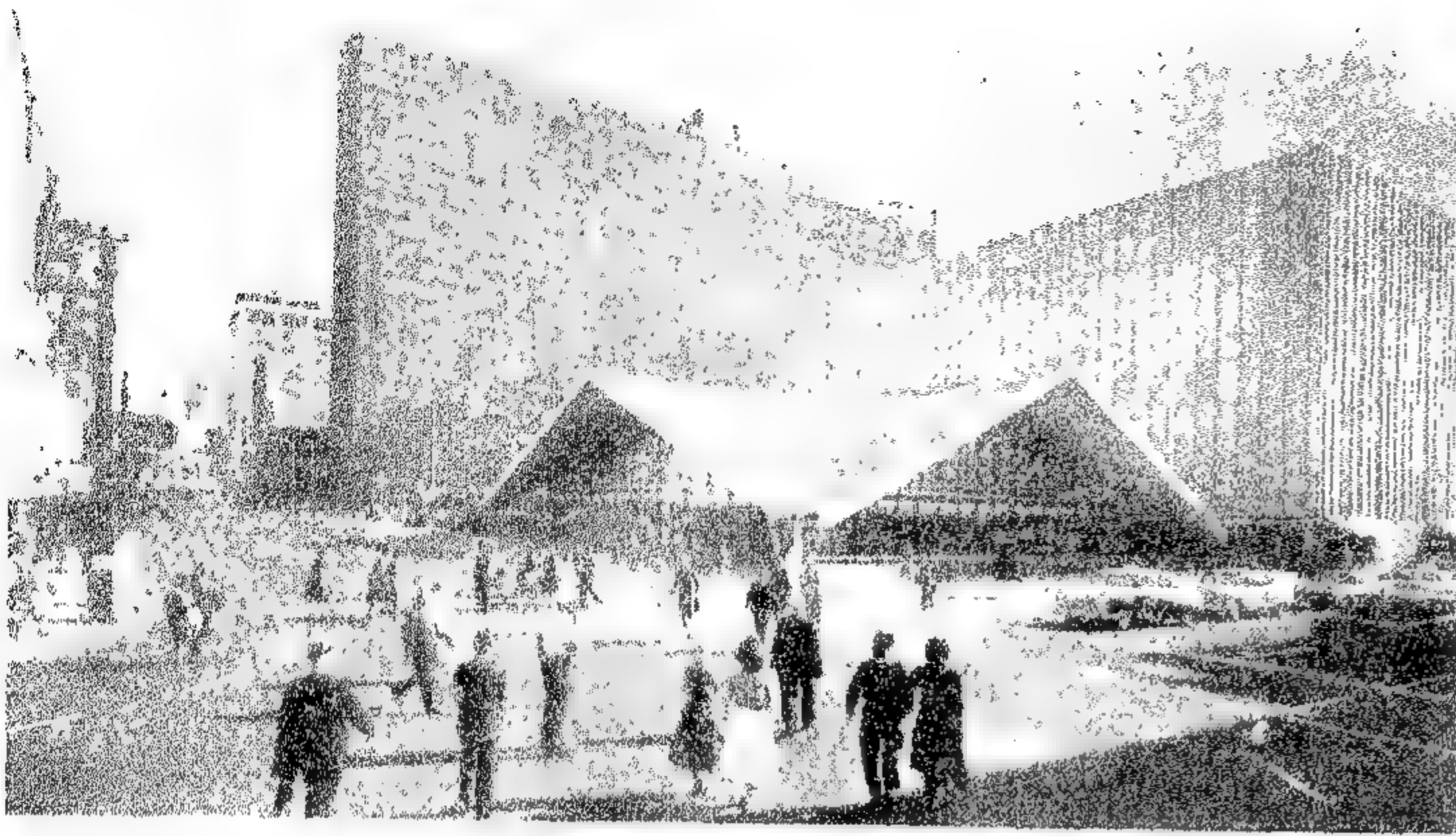
(شكل ٣٧٢) سقيفة موسيقى للحفلات الخارجية في
المشروع الإسكاني لمؤسسة التأمينات الاجتماعية بمدينة
مكسيكو سنة ١٩٥٦ (المعماري مارنياني والإنشائي
كاندلا).

(شكل ٣٧٣) تصميم لسقيفة موسيقى لمدرسة في جودالاجارا
بمكسيكو.



شكل ٣٧٣



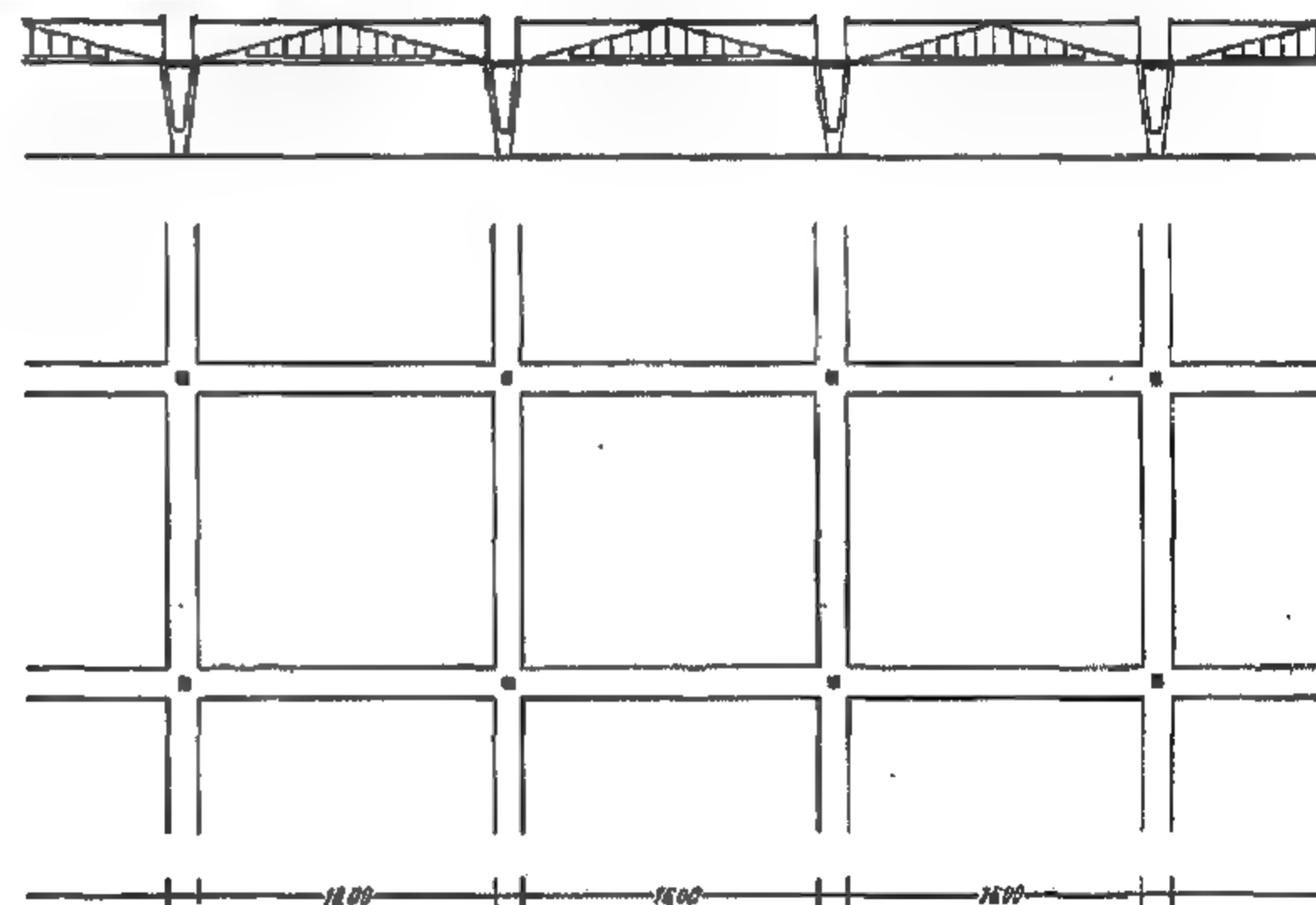


شکل ۳۷۵

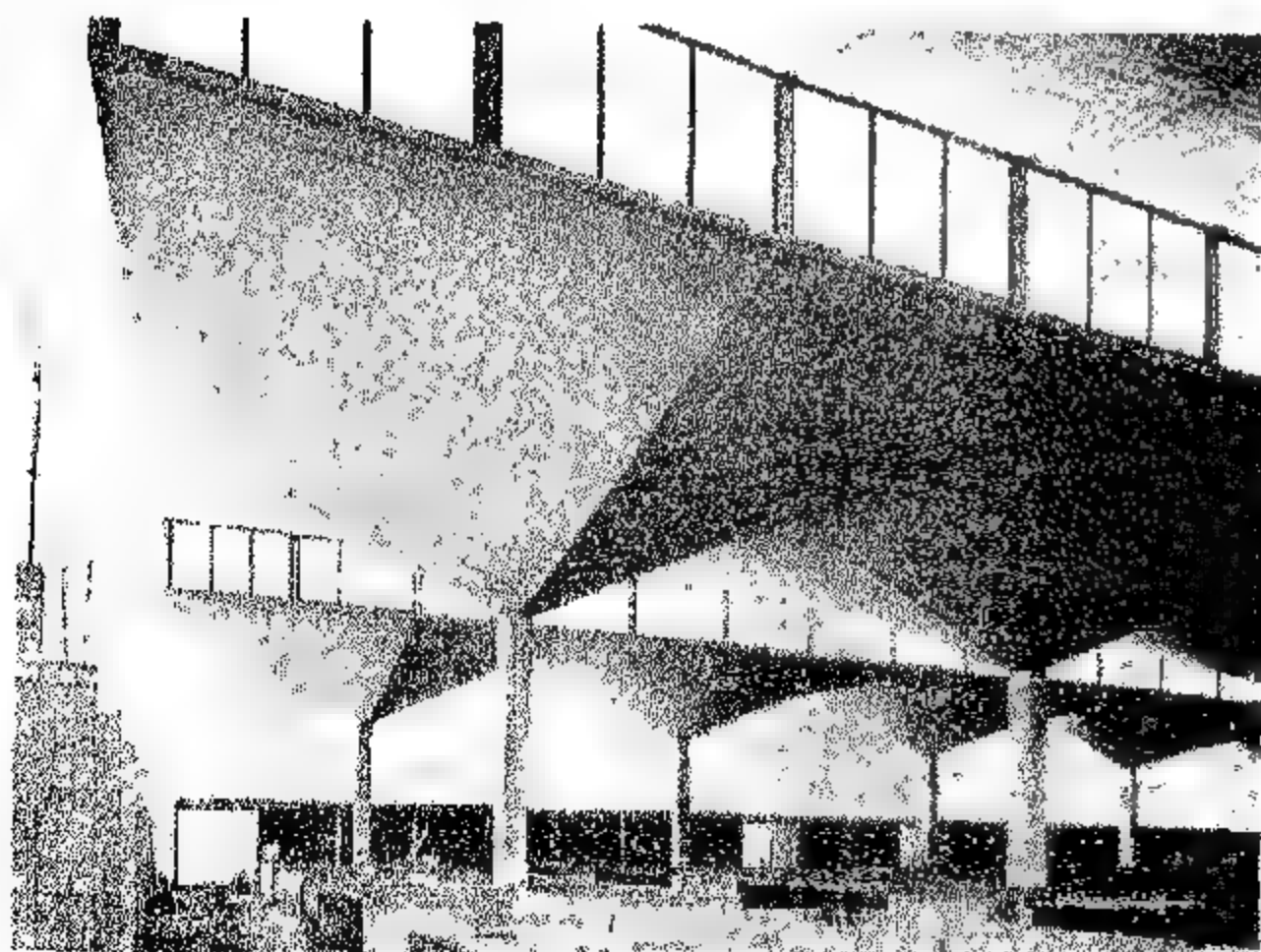
شکل ۳۷۴

تجميعات وحدات قطاع زائدي مكافئ

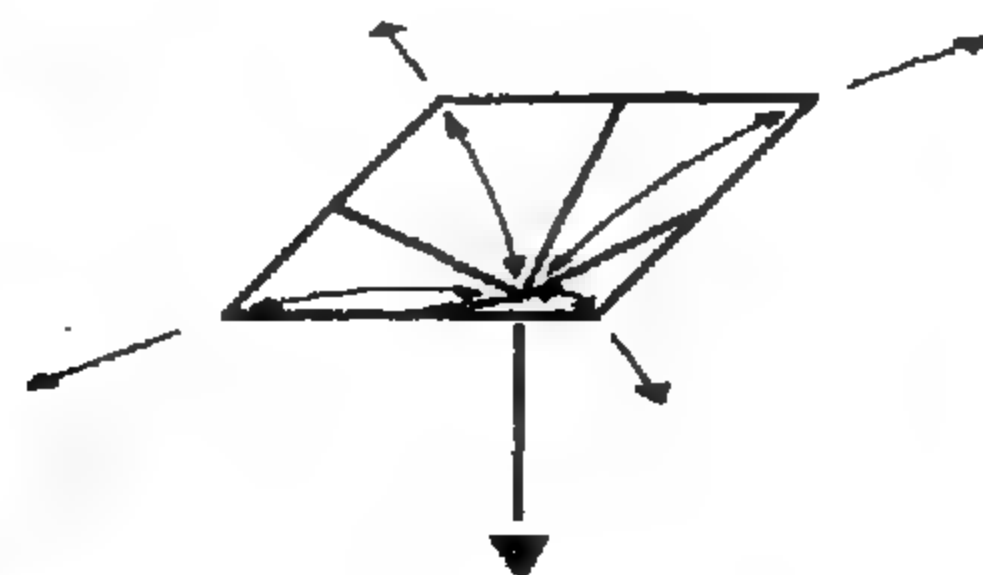
- (شکل ۳۷۴) مدخل محلات ماي بدنقر كالورادو (المعماري
بای وشركاه والانشائي روبرتز وشيفر).
(شکل ۳۷۵) مصانع هيرديزي في تاكوبا بمكسيكو (الانشائي
كاندلا) منظور داخلي.
(شکل ۳۷۶) مسقط للباقيات وقطاع.
(شکل ۳۷۷) اضاءة علوية بين وحدات حاملة في صالة سوق
بمكسيكو (الانشائي كاندلا) - منظور داخلي.
(شکل ۳۷۸) مصانع لامكس في بونتي دي فيجاس بمكسيكو.
(الانشائي كاندلا) - منظور خارجي وقطاع بالوحدة المائلة.



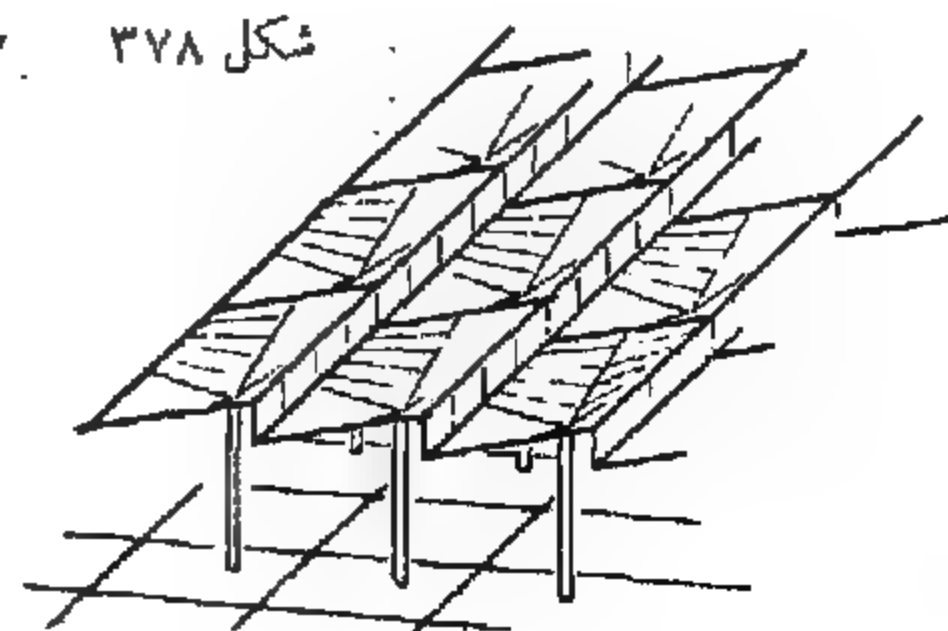
شکل ۳۷۶

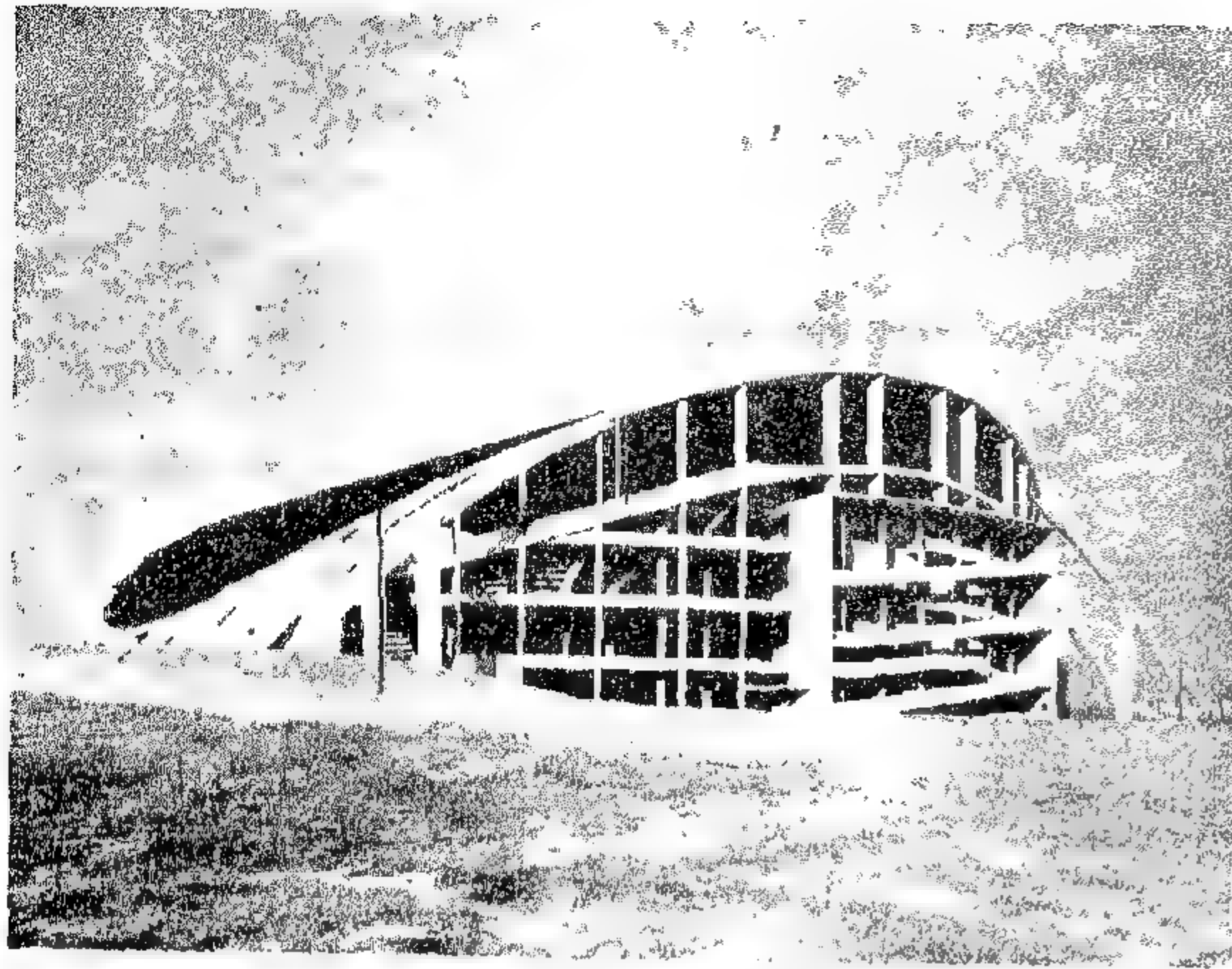


شکل ۳۷۷

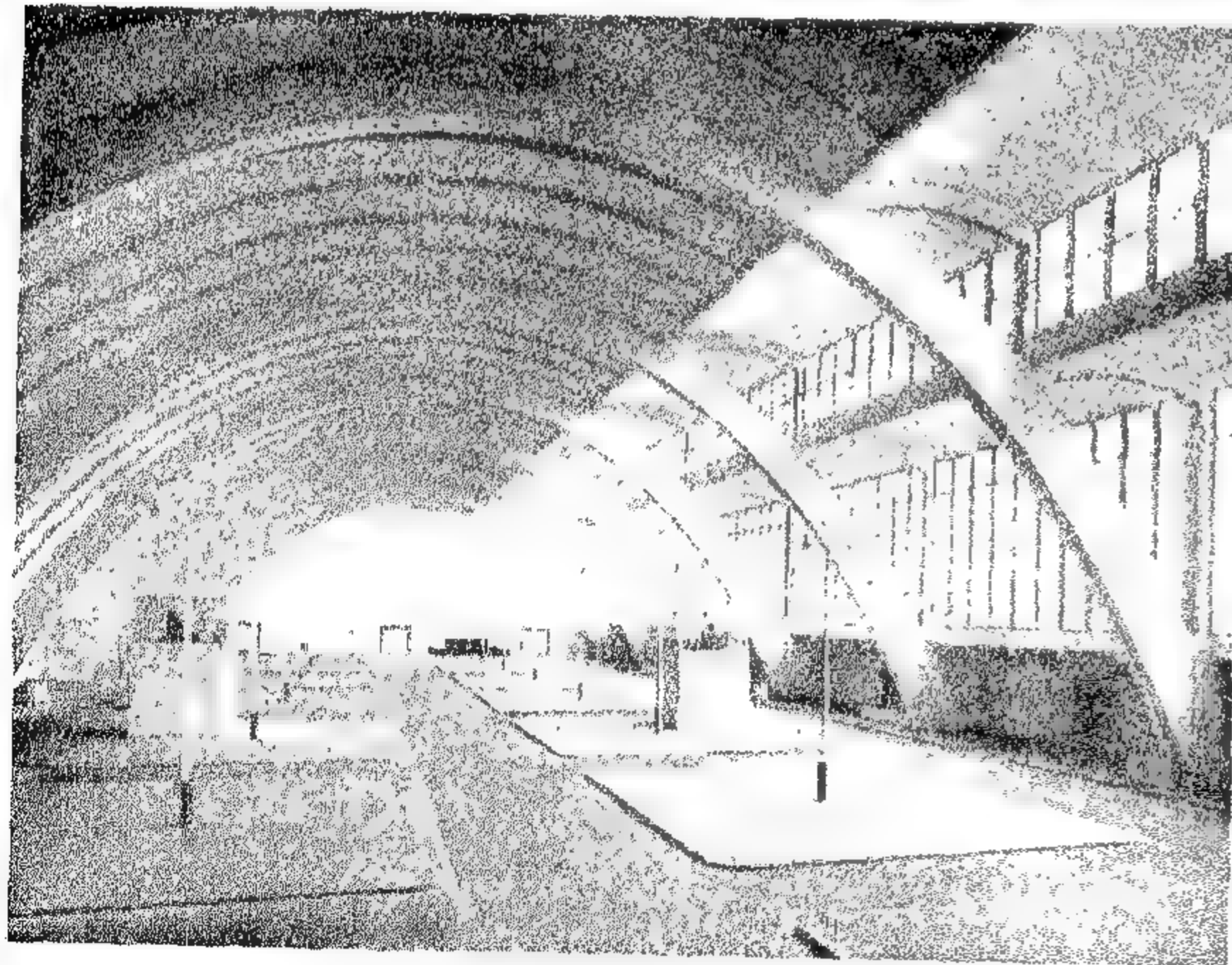
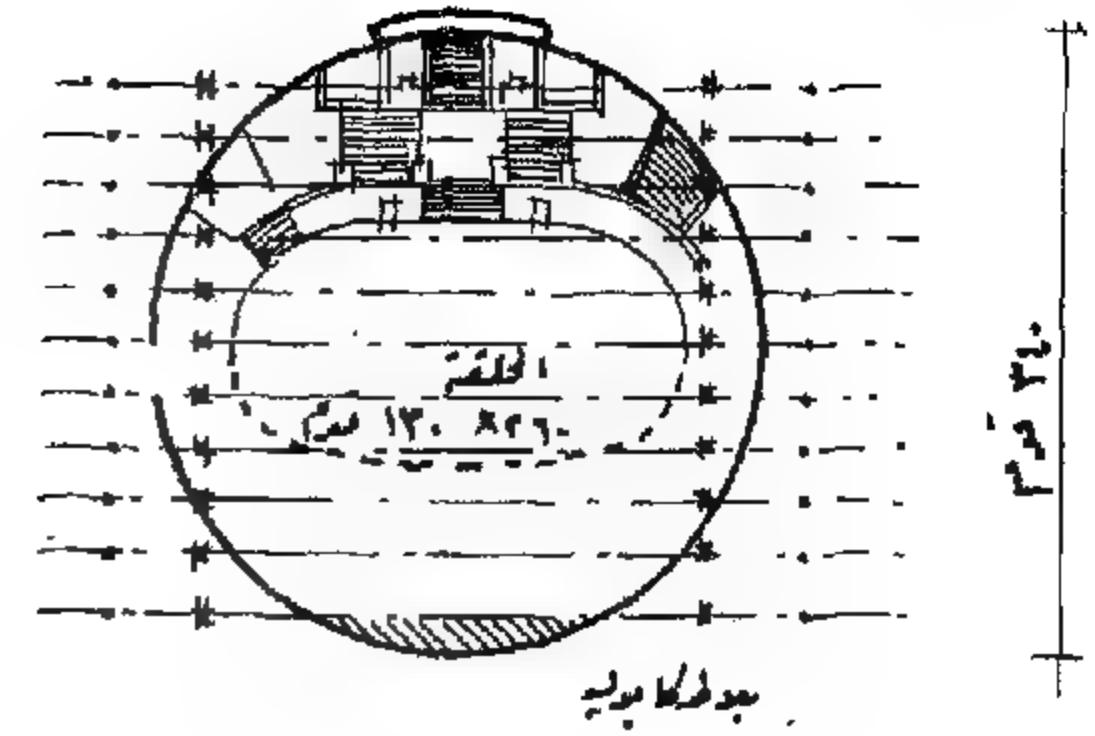


شکل ۳۷۸





شكل ٣٧٩



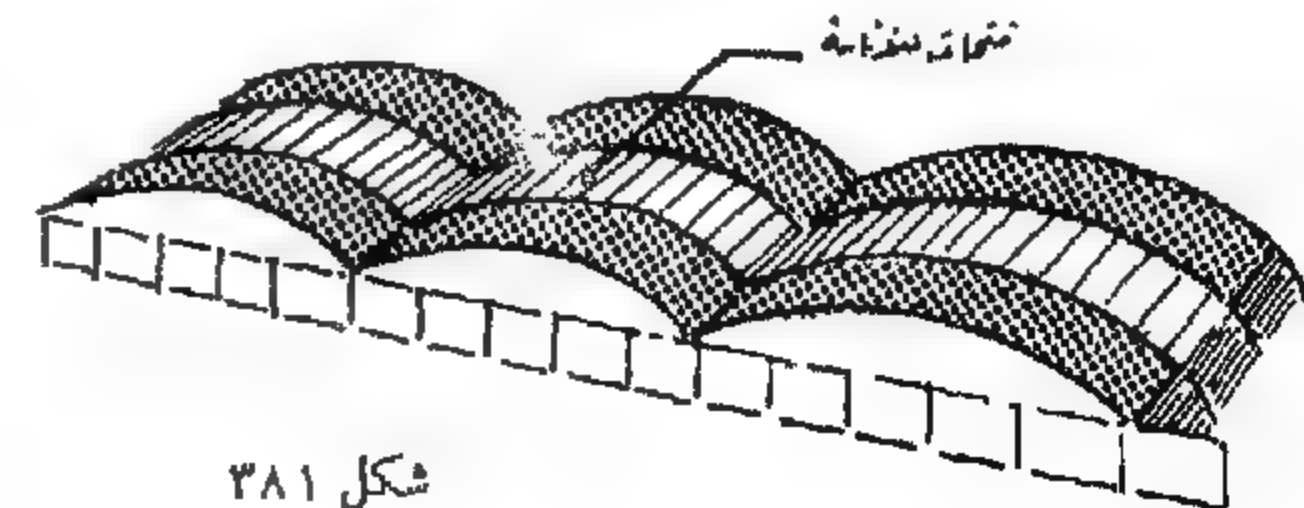
شكل ٣٨٠

الوحدات المفردة الانحناء — قبوات قصيرة

(شكل ٣٧٩) مسقط ومنظور لمرض المشية
بمدينة مونتهجرى بولاية ألاباما .

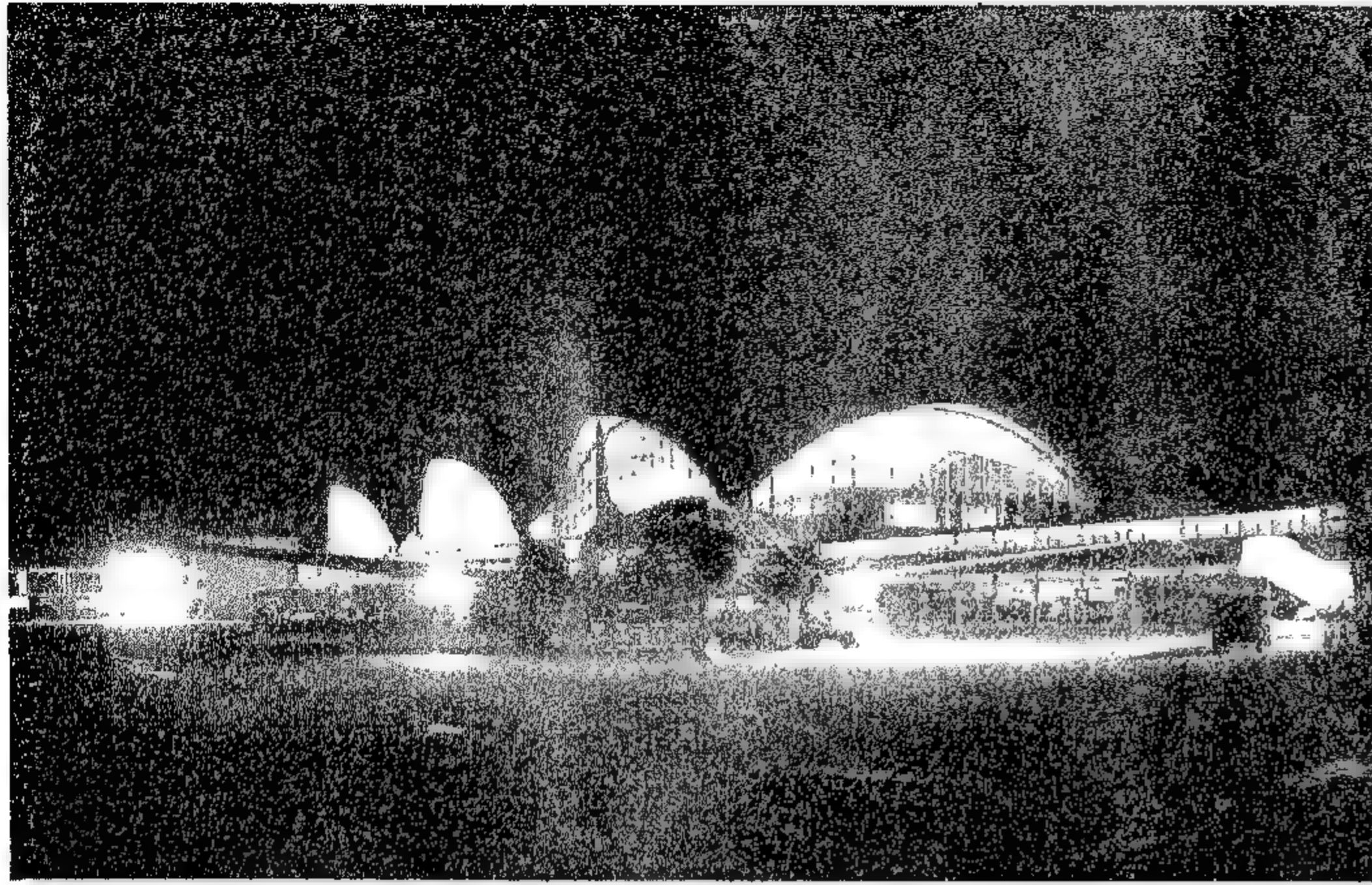
(شكل ٣٨٠) صالة سوق مدينة كولونيا
بألمانيا (بحر ٦٦ متراً وعرض ٥٠ متراً) .

(شكل ٣٨١) قبوات قصيرة متداخلة
لحظائر الطائرات .

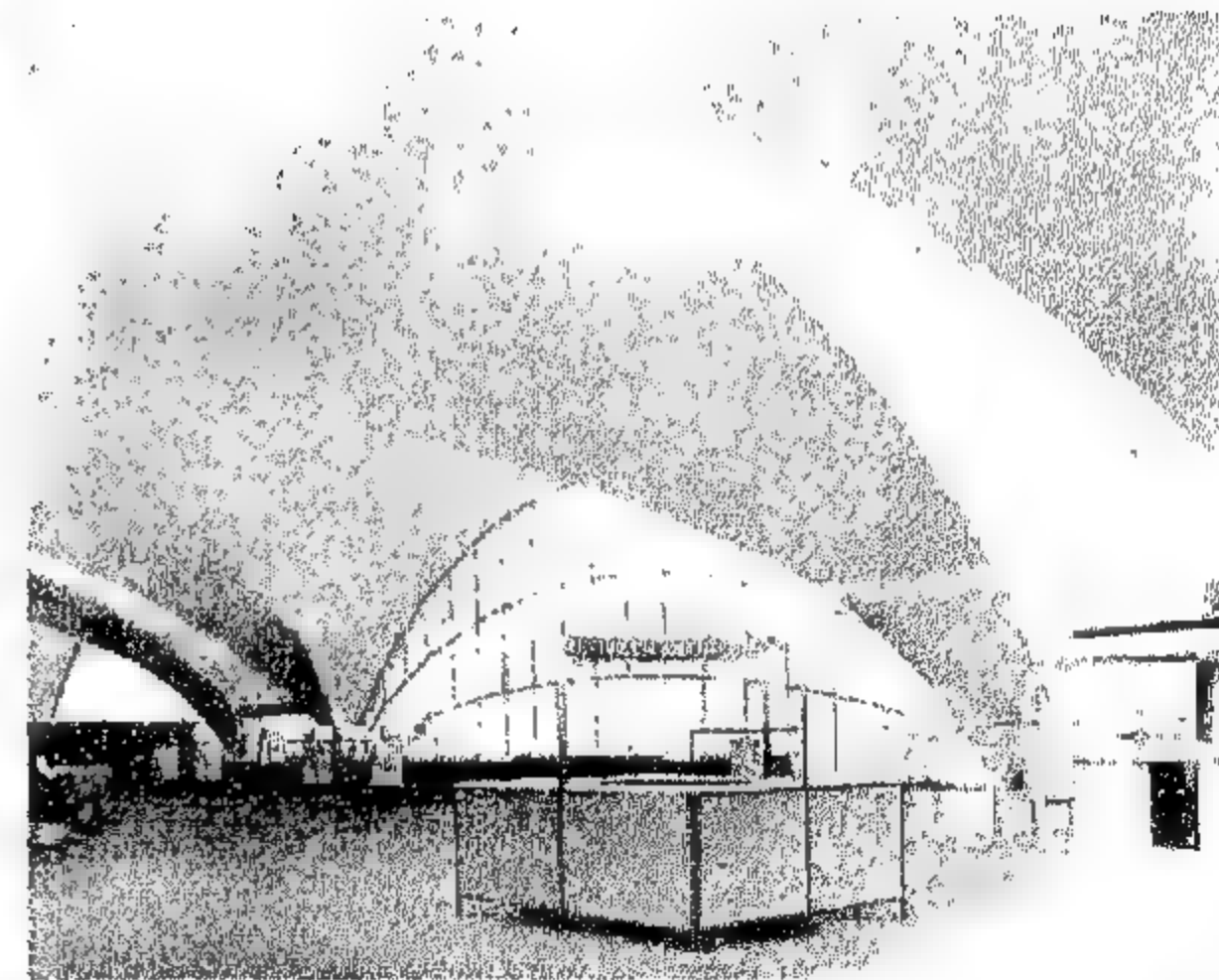
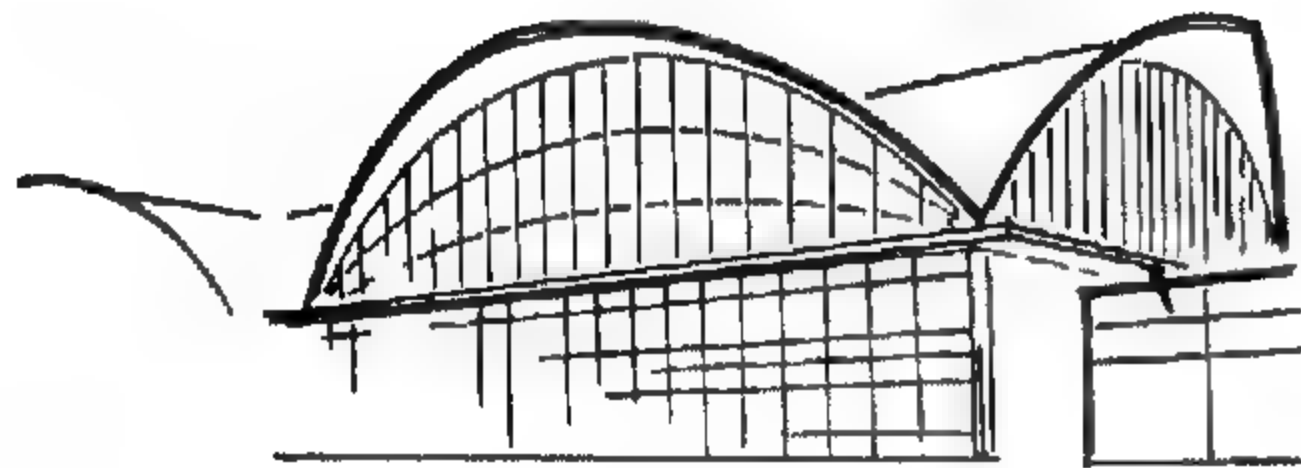
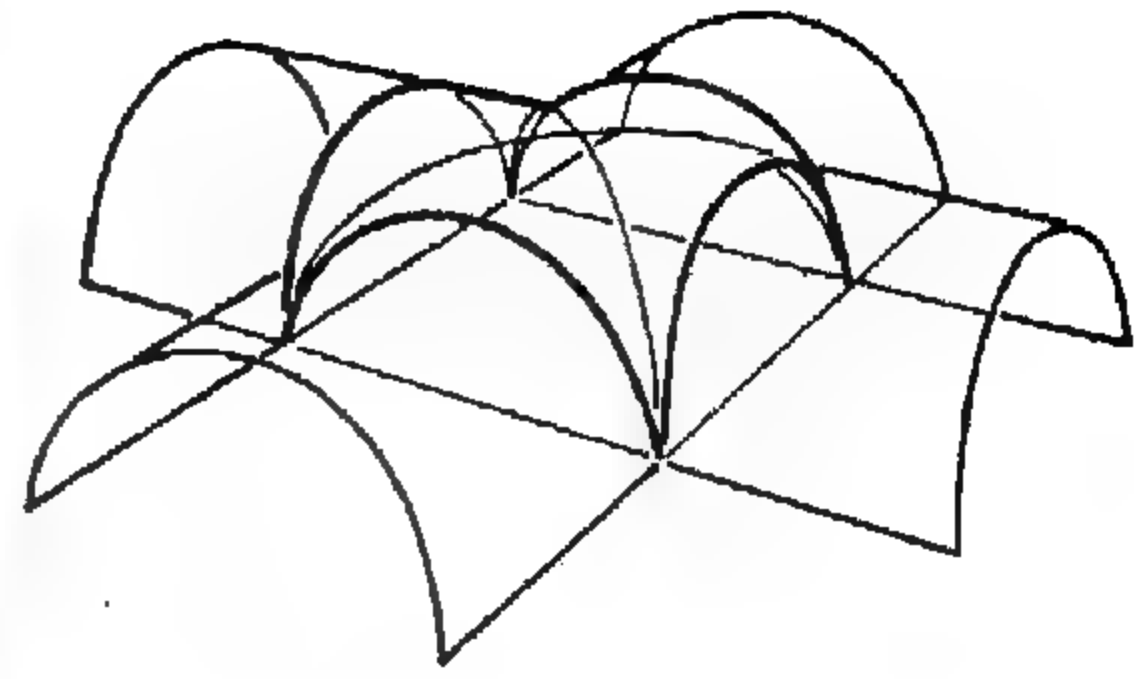


شكل ٣٨١





شكل ٣٨٢

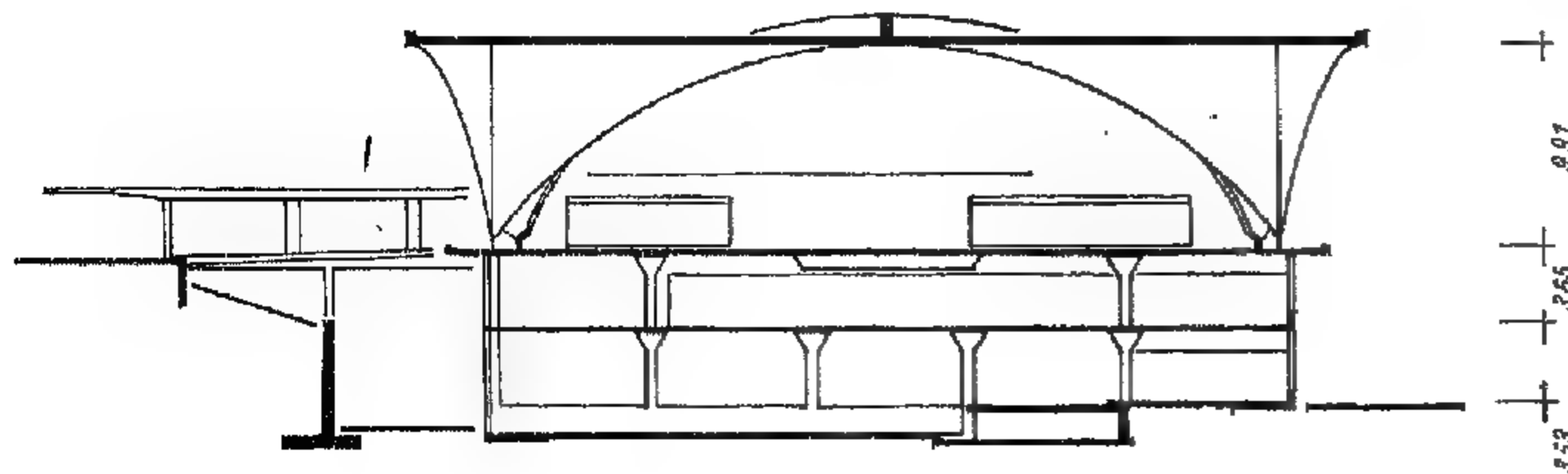


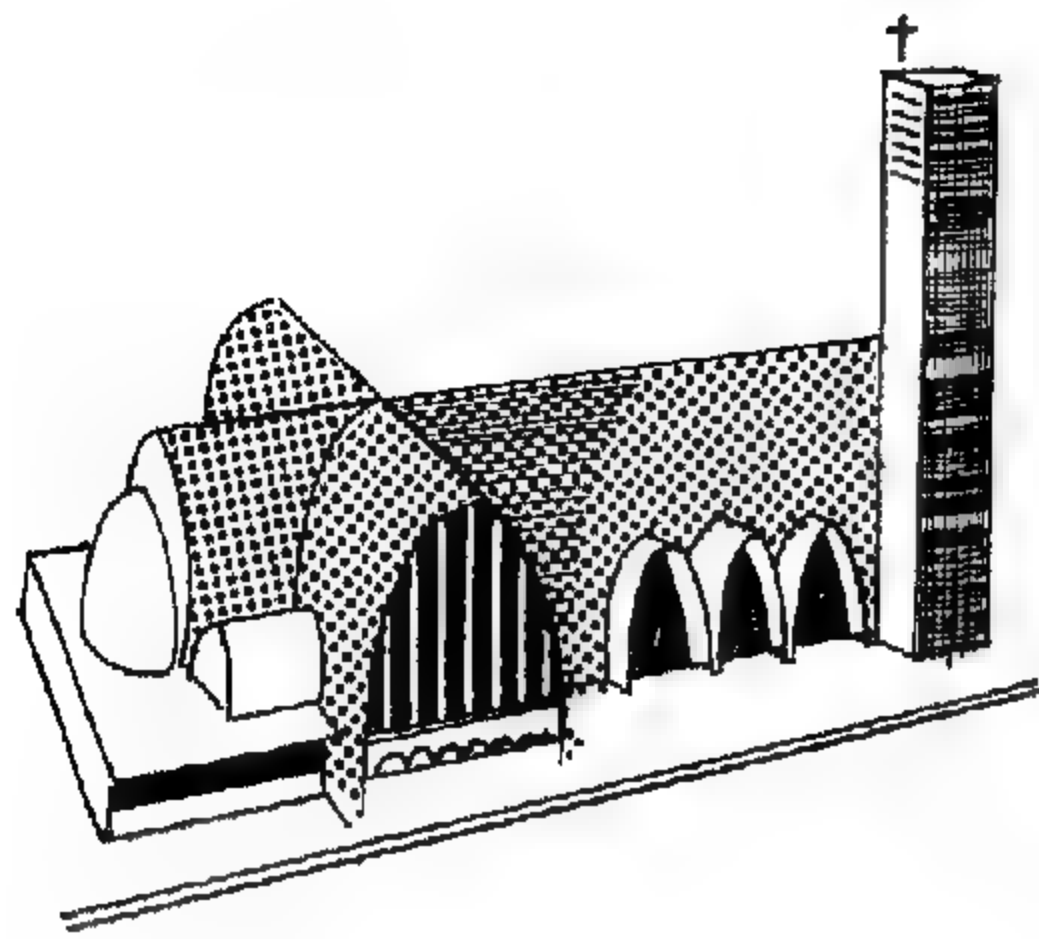
شكل ٣٨٤

شكل ٣٨٣

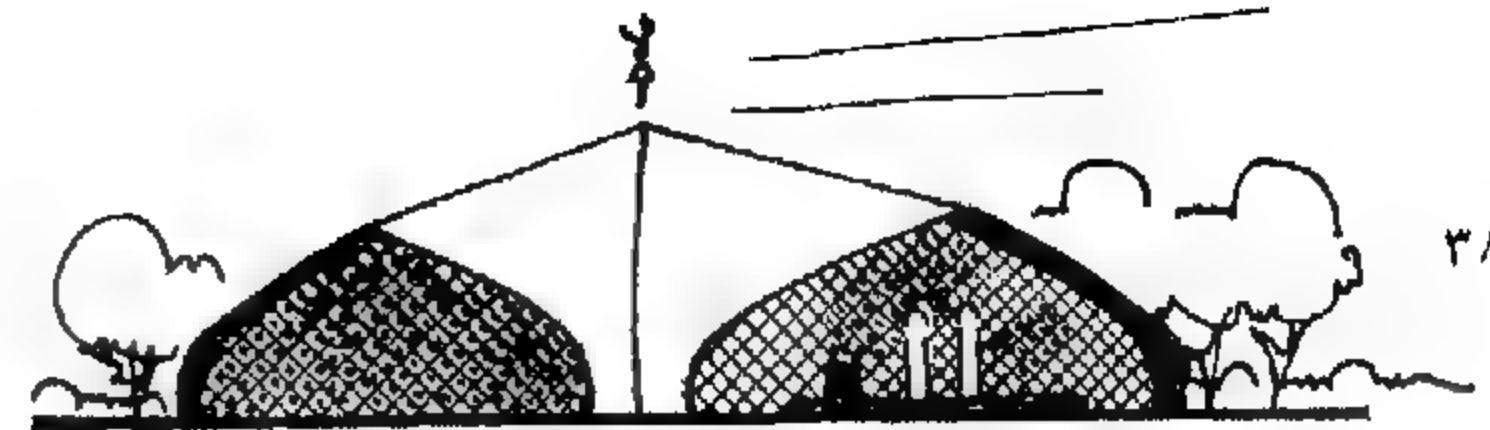
الوحدات مفردة الانحناء المتقاطعة

(شكل ٣٨٢) محطة مطار سانت لويس النهائية
 بولاية ميسوري (المعمارين ياما ساكي ولينوير
 وشركاهم ، الإنشائيون روبرتز وشيفر) .
 (شكل ٣٨٣) قطاع عرضي .
 (شكل ٣٨٤) منظورداخل .

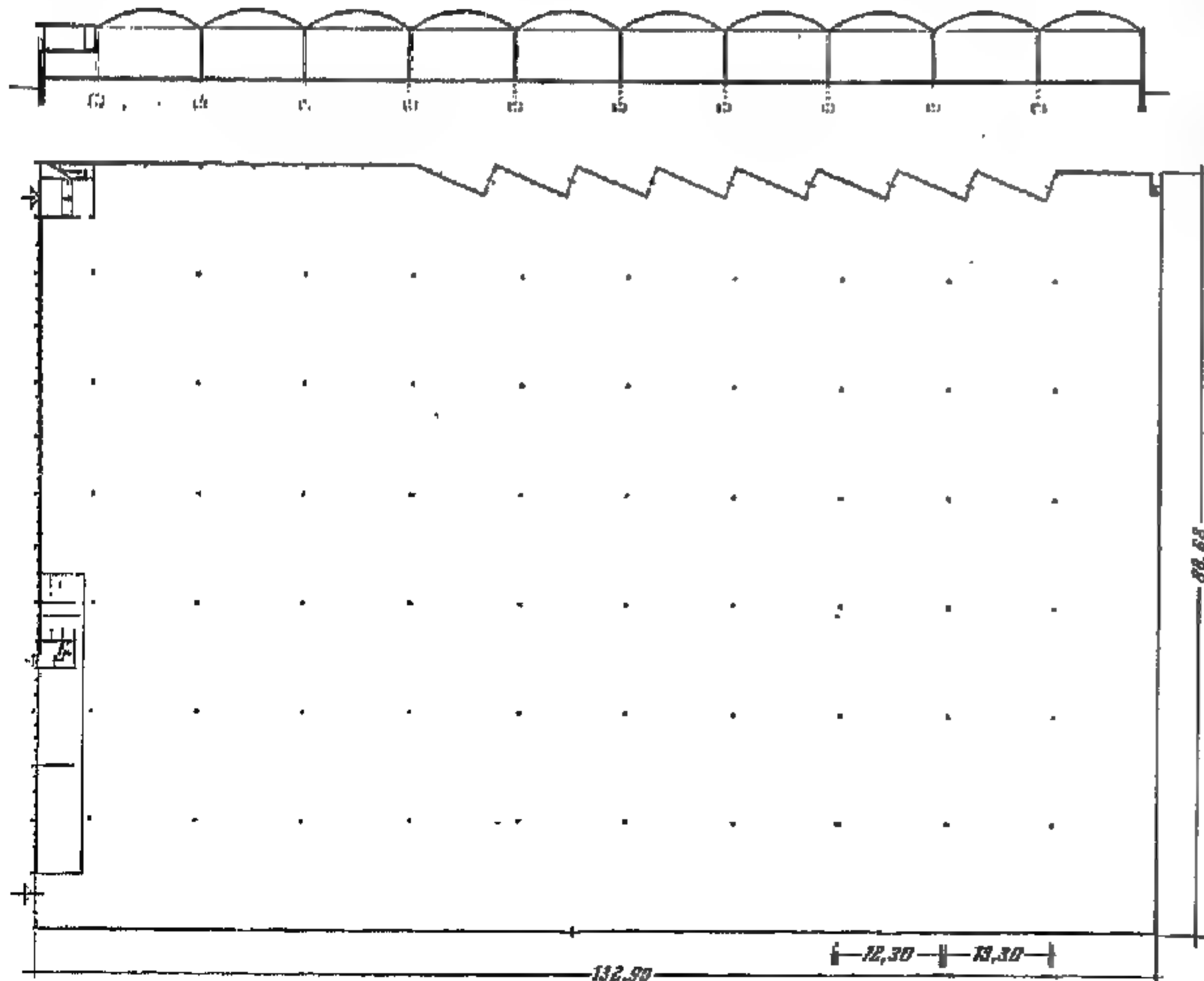




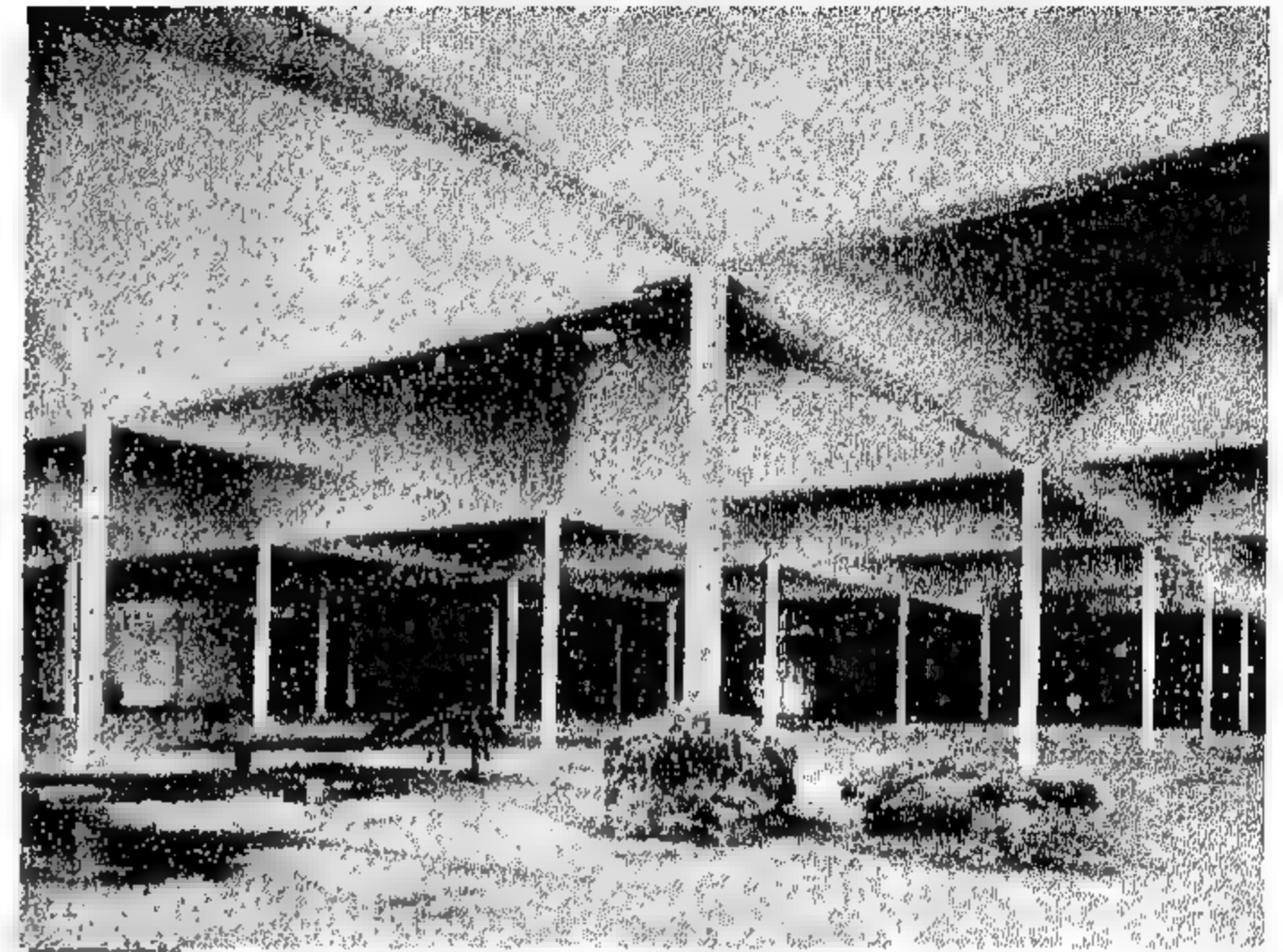
شكل ٣٨٥



شكل ٣٨٦



شكل ٣٨٧



الوحدات مفردة الانحناء المتقاطعة

(شكل ٣٨٥) كنيسة يورزما - مونتيري بمكسيكو.

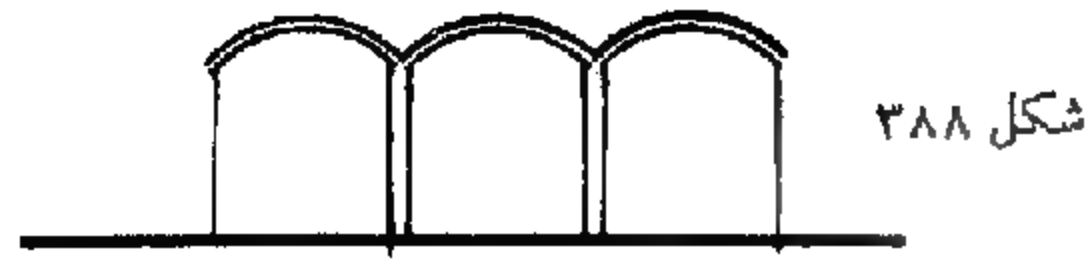
(شكل ٣٨٦) تجمعات لأقبية الأفنية على

مساقط مربعة.

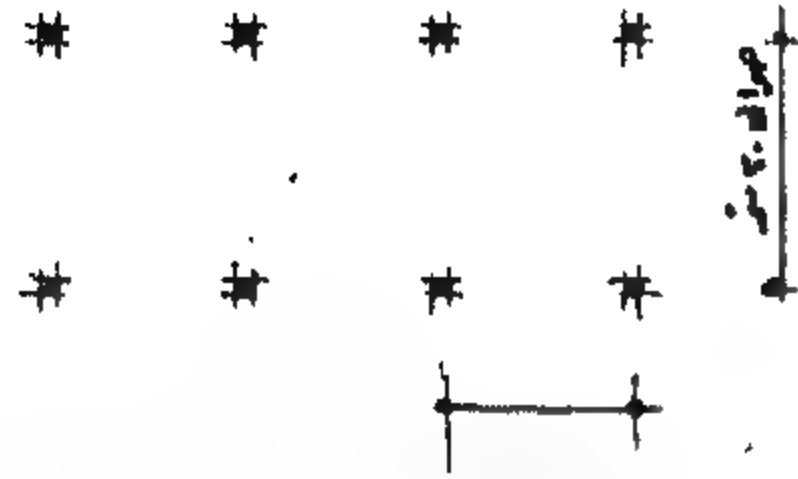
(شكل ٣٨٧) مخزن المنتجات لمصانع دنلوب في

هاناوى بألمانيا - منظور داخلي ومسقط أفقي وقطاع.

ألكوابيل
مفردة مزودة



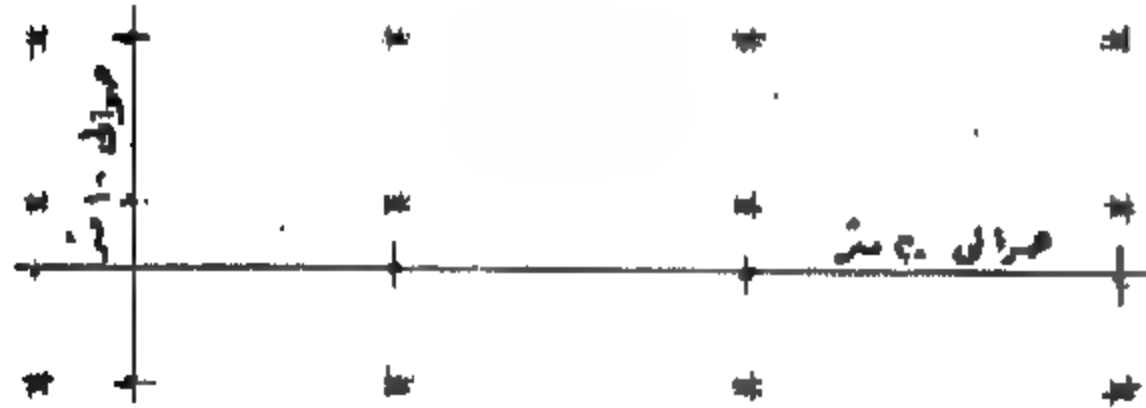
شكل ٣٨٨



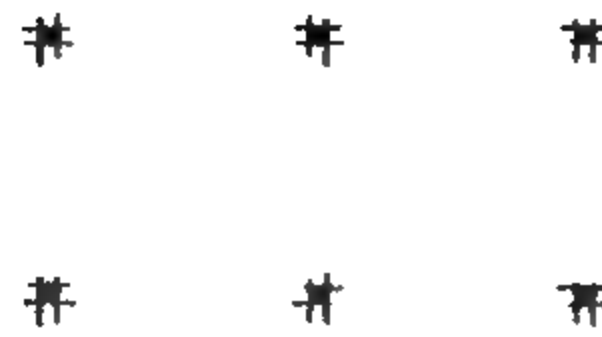
٣٨٩



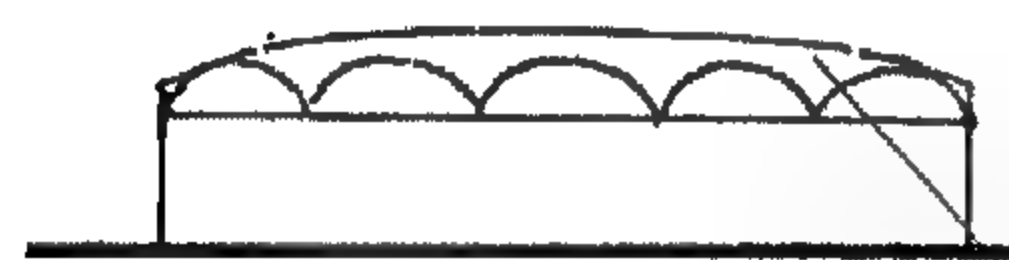
شكل ٣٨٩



شكل ٣٩١

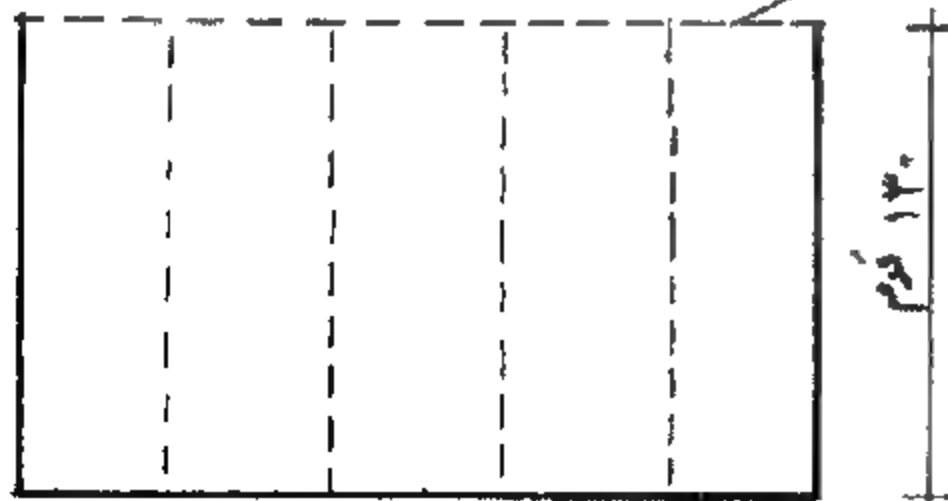


شكل ٣٩٢

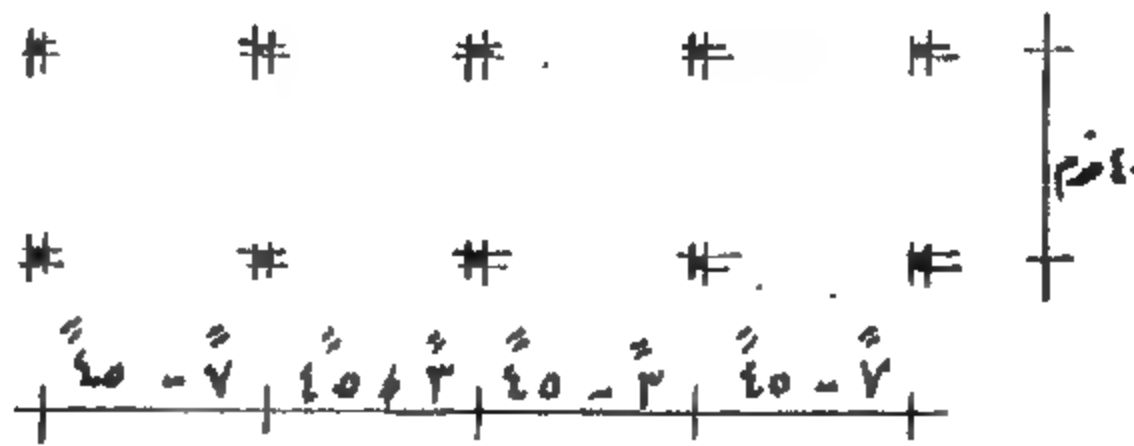


شكل ٣٩٠

مكرات سابقة التجهيز ١٩٠ قدم



شكل ٣٩٣



وحدات مفردة الانحناء — قنوت طويلة

(شكل ٣٨٨) قنوت خرسانية لتغطية الفراغات الصناعية .

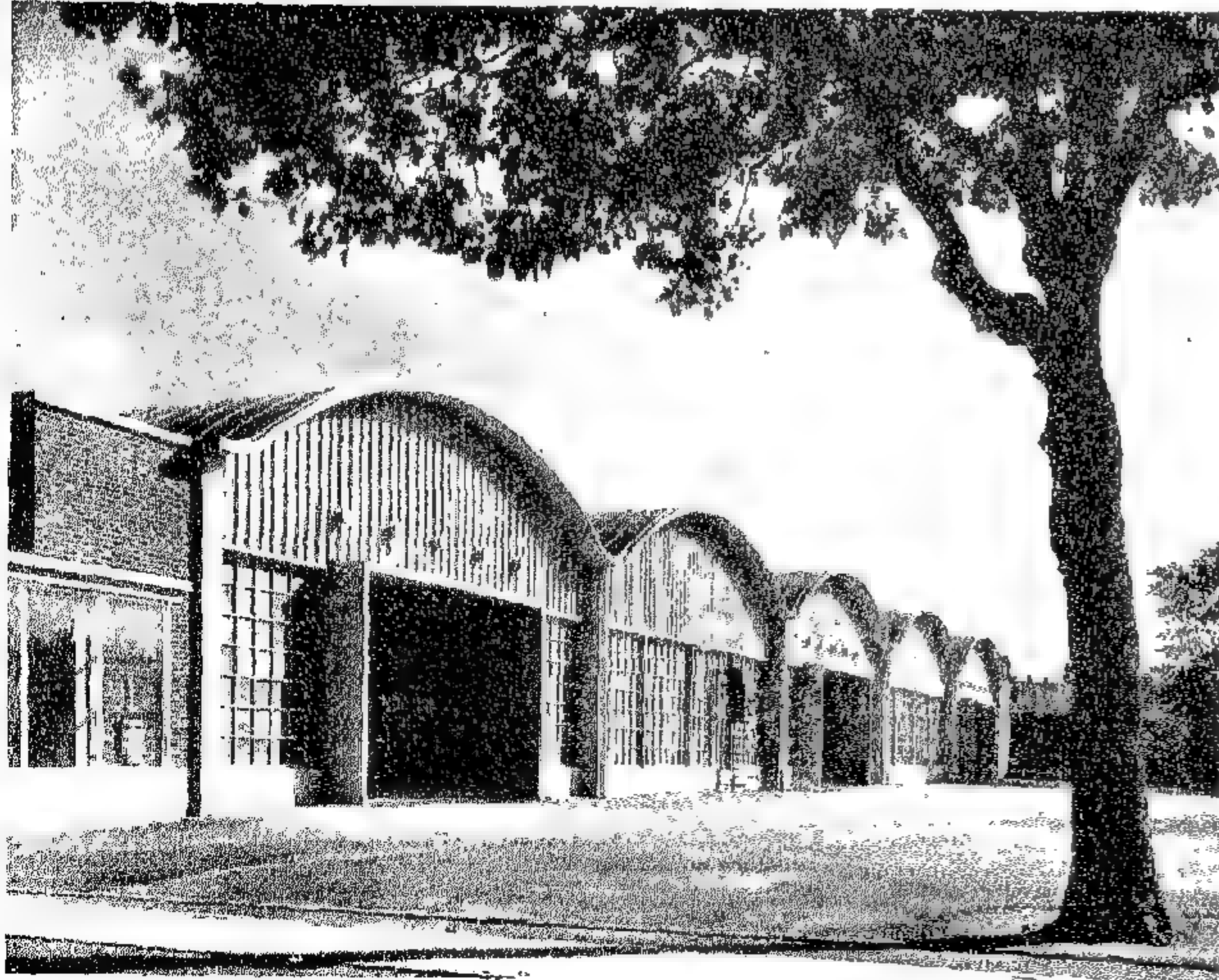
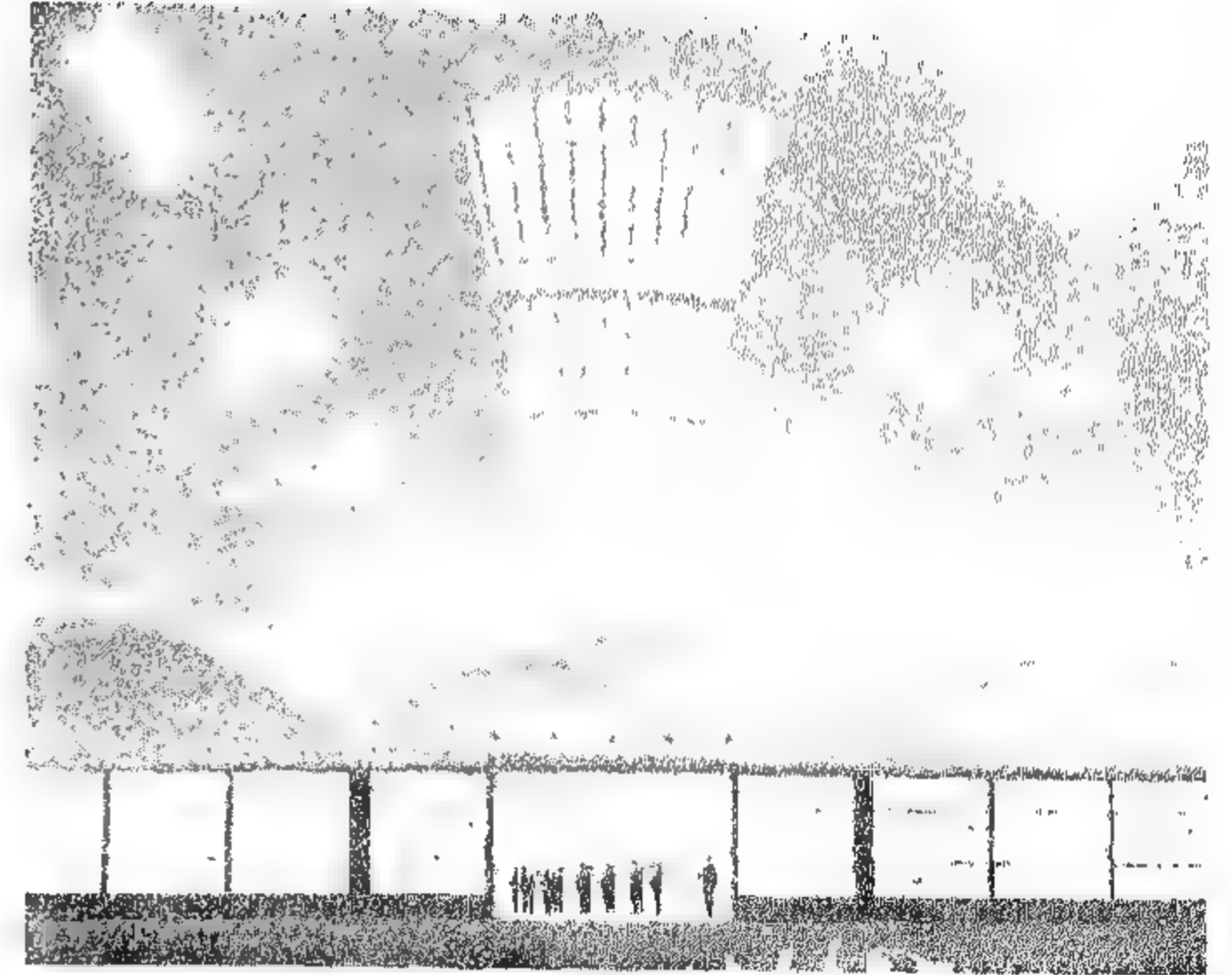
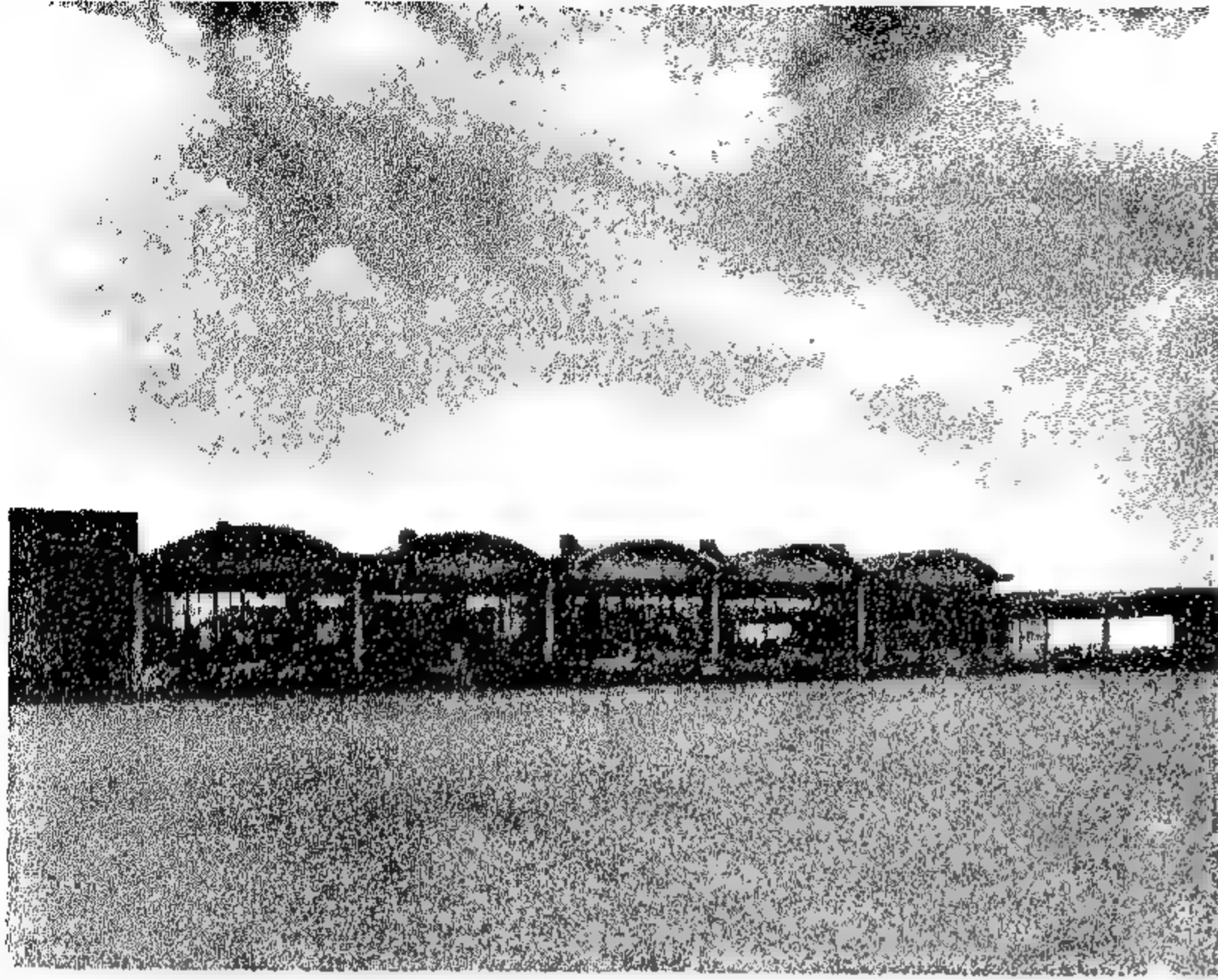
(شكل ٣٨٩) قنوت طويلة لباقيات صناعية ذات إضاءة علوية .

(شكل ٣٩٠) ككرة طرفية حاملة سابقة الإجهاد لحمل خمس قنوت طويلة في حظيرة طائرات في مطار كراتشي بباكستان .

(شكل ٣٩١) هياكل بكوابيل مزدوجة في مصانع « لبنان » كلارك شيك في بوجوتا بكولومبيا .

(شكل ٣٩٢) سقف مسنن في مصانع ريشز وأولاده في أنتفيلد بلندن .

(شكل ٣٩٣) هياكل طرفية مقوسة في المخزن العام للجيش الأمريكي بكولومبس بأمريكا .



وحدات مفردة الانحناء قبوات طويلة

(شكل ٣٩٤) مطعم الموظفين بشركة ماي وبيكر

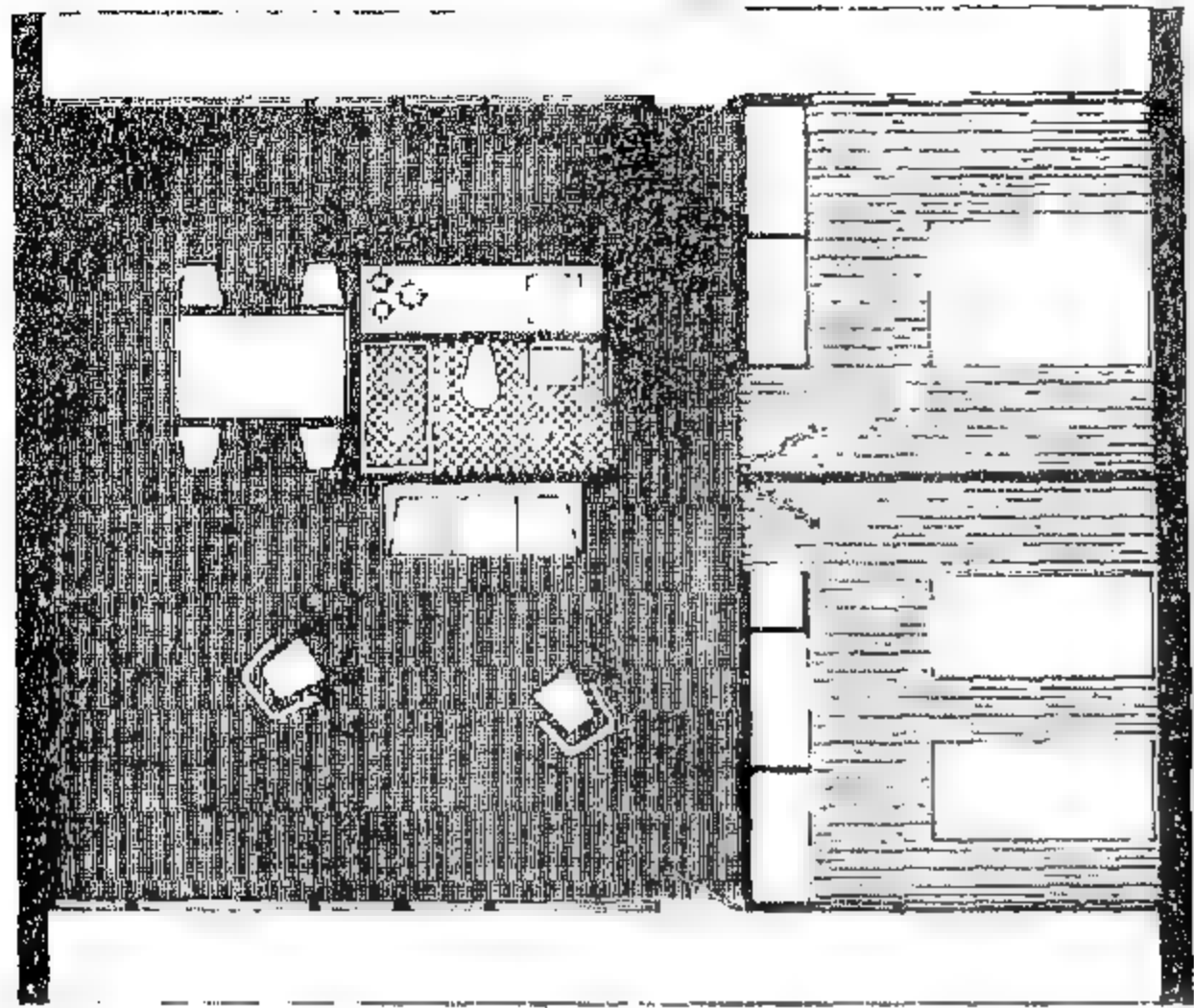
بمدينة داجنهام بمقاطعة اسكس بإنجلترا .

(شكل ٣٩٥) منظر داخل بالمطعم .

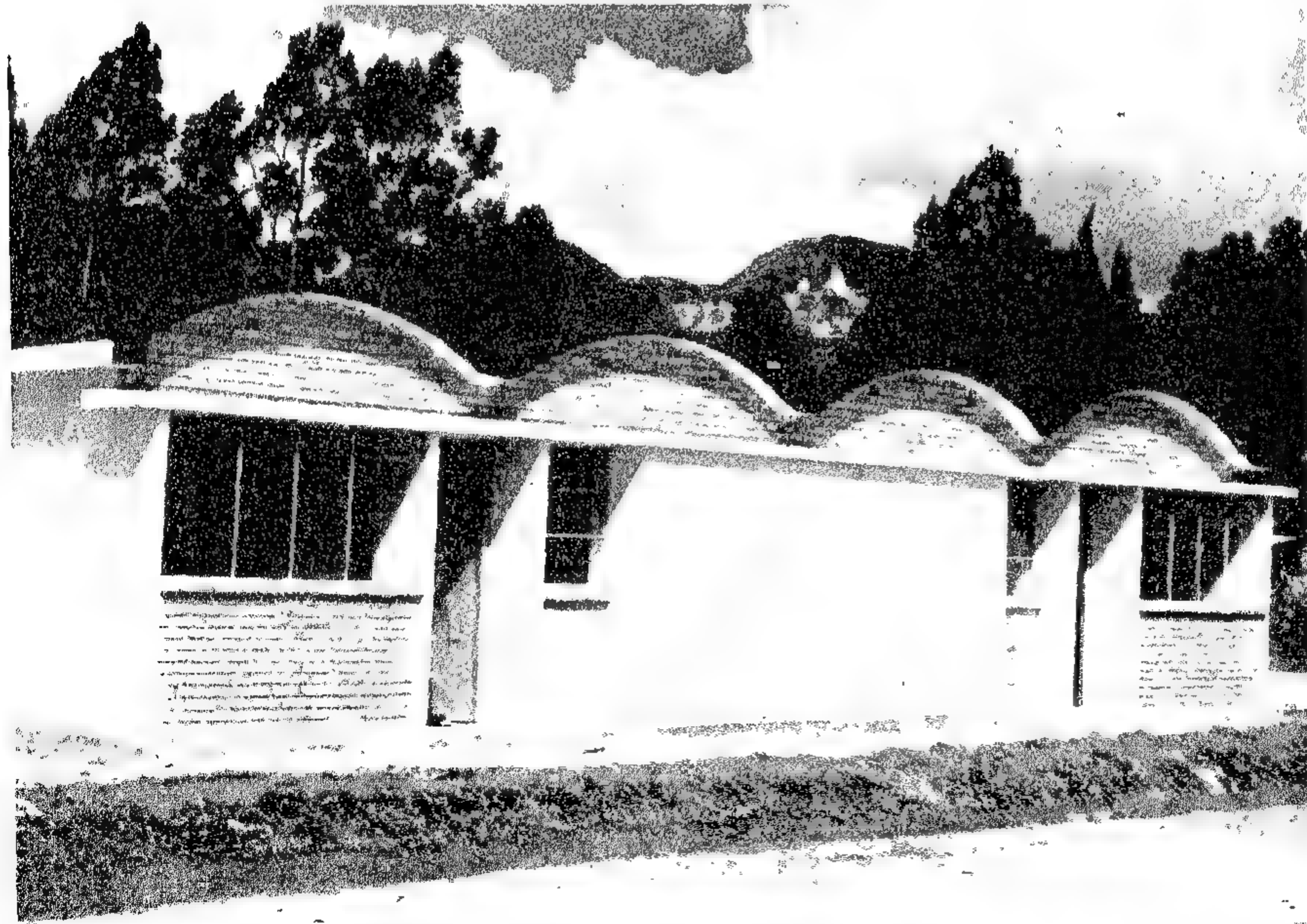
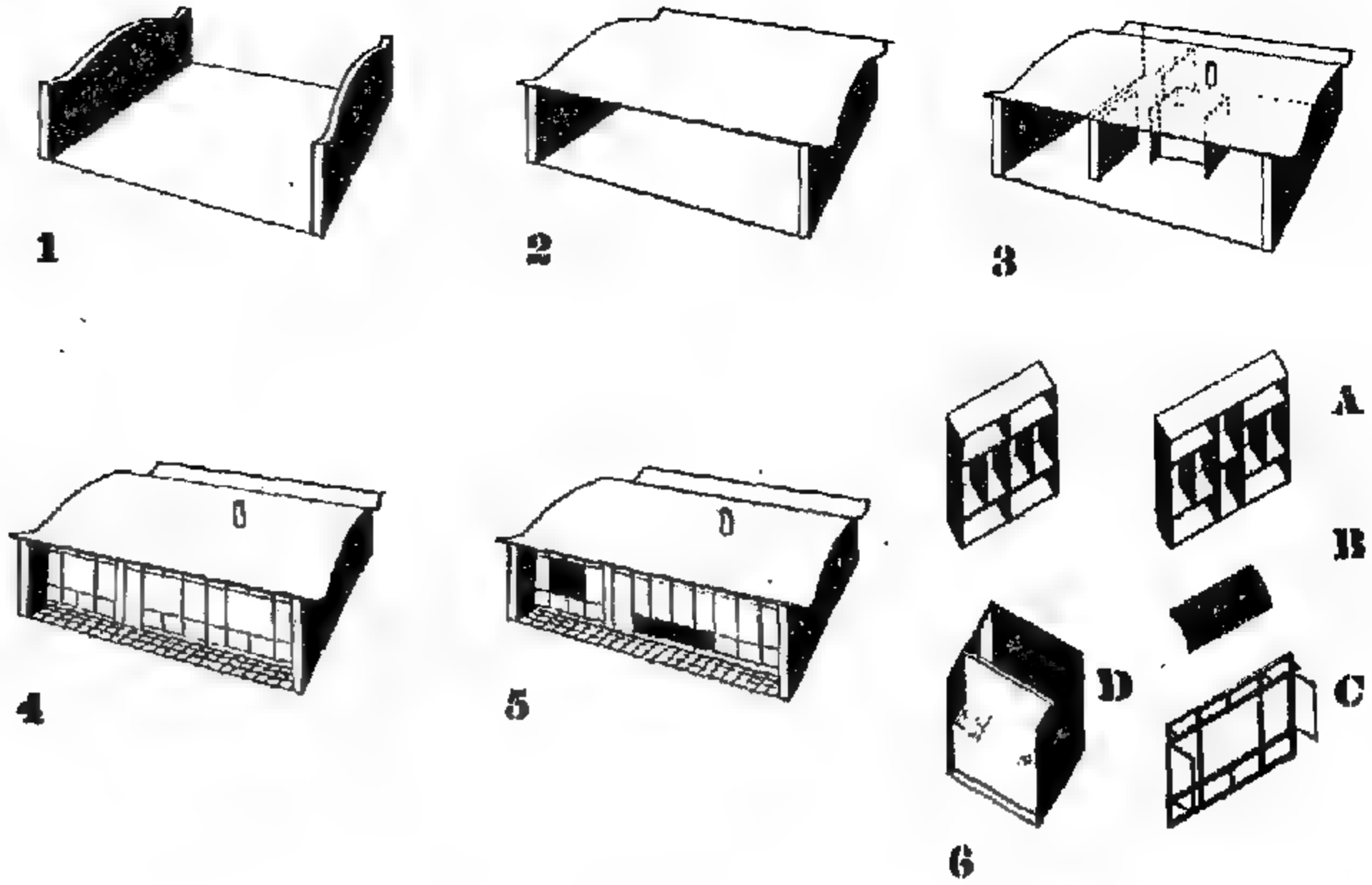
(شكل ٣٩٦) صالة تمرينات البحرية الملكية بمدينة

ديل بمقاطعة كنت بإنجلترا .

(شكل ٣٩٧) منظر داخل بالصالة .



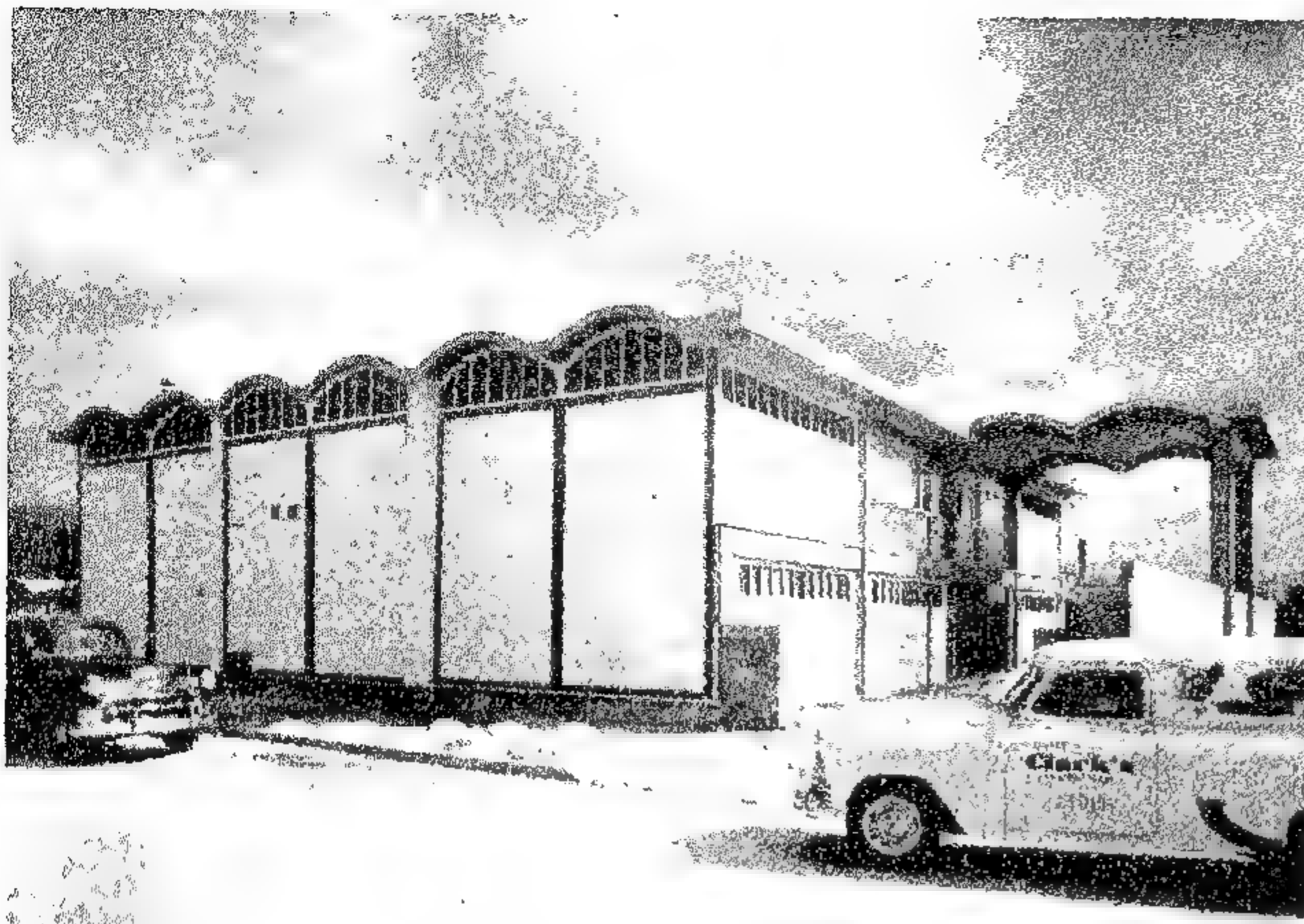
0 5



وحدات مفردة الانحناء - قبوات طويلة جاهزة

المعماريين سولانو وأورتيجا
(شكل ٣٩٨) مسقط لوسه سكنية
شعبية جاهزة من حجريين نوم
(شكل ٣٩٩) مراحل إنشائية
لمسكن شعبي ١ - حوائط حاملة،
٢ - سقف قشري جاهز .
٣ - وحدة المطبخ . ٤٤٥ التوافد
٦ - الأجهزة .

(شكل ٤٠٠) وحدة لمسكنين
سابقة الصب في مشروع سكني
شعبي في بوجوتا بكولومبيا سنة
١٩٥٣ .



شكل ٤٠١

وحدات مفردة الانحناء - قبوات طويلة جاهزة

مصنع « لبنان » كلارك في بوجوتا بكولومبيا -
المعماري ييزانو .

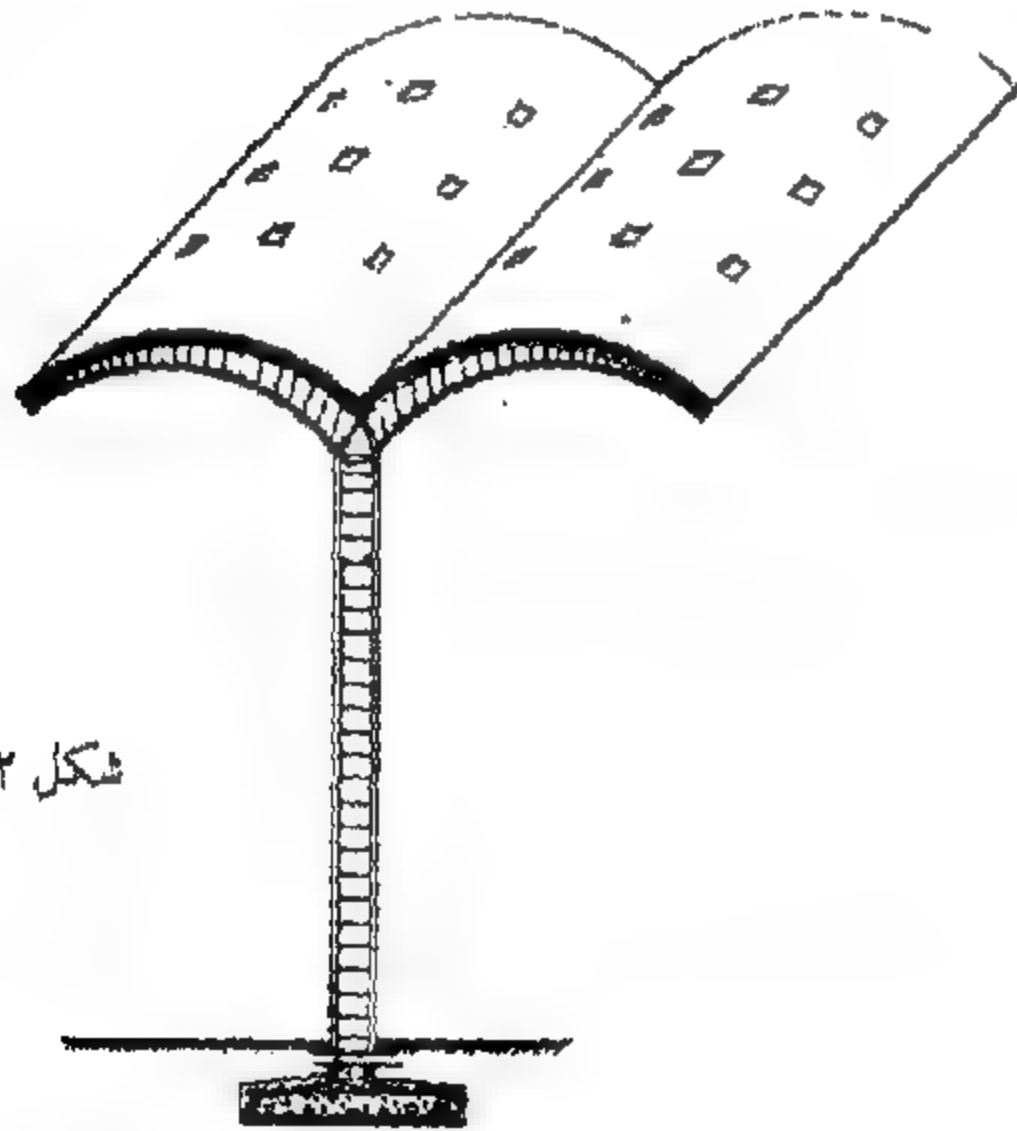
(شكل ٤٠١) منظر خارجي للمصنع .

(شكل ٤٠٢) وحدة الهيكل والأقبية .

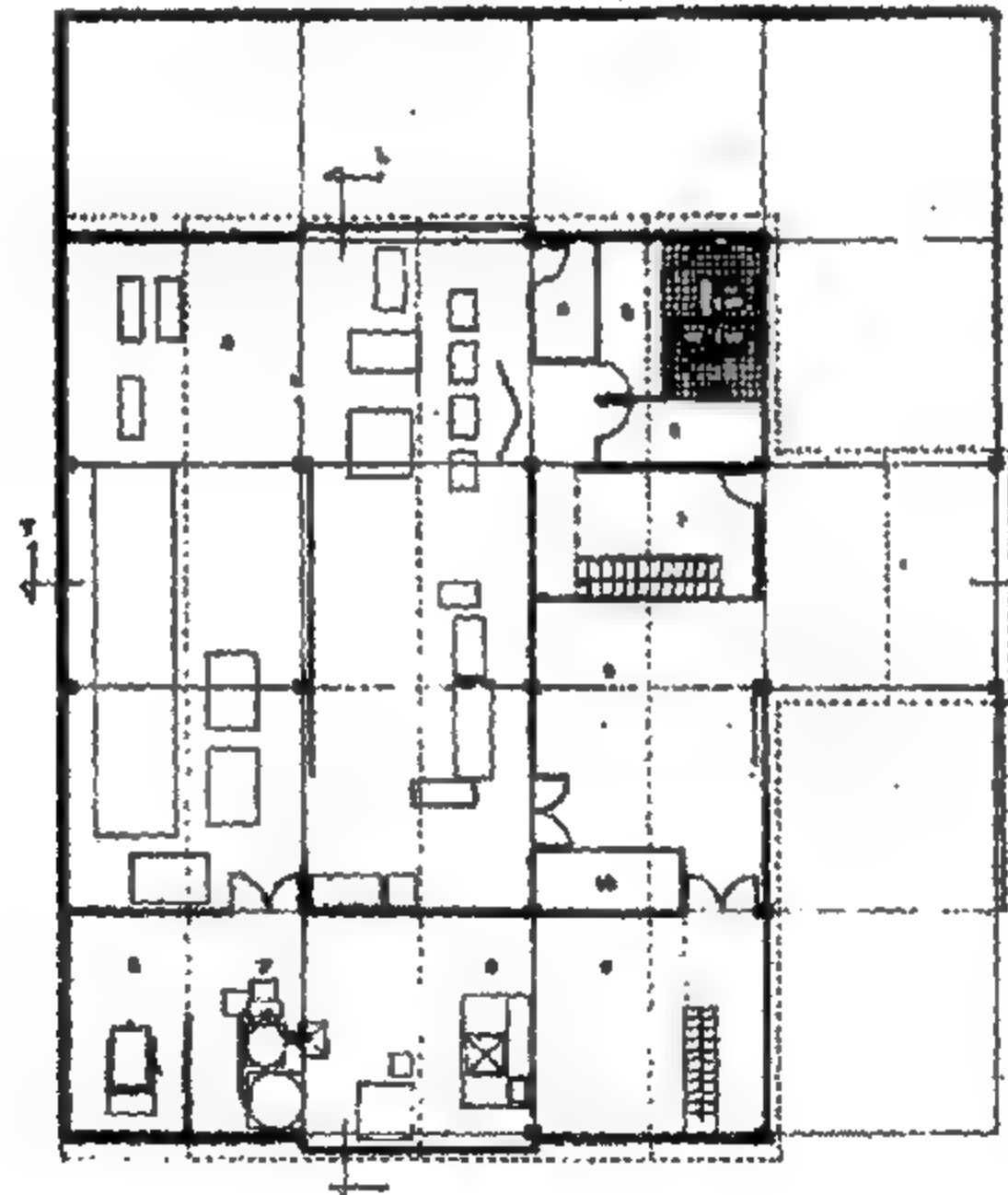
(شكل ٤٠٣) مسقط أفقي للدور الأرضي

والمسروق .

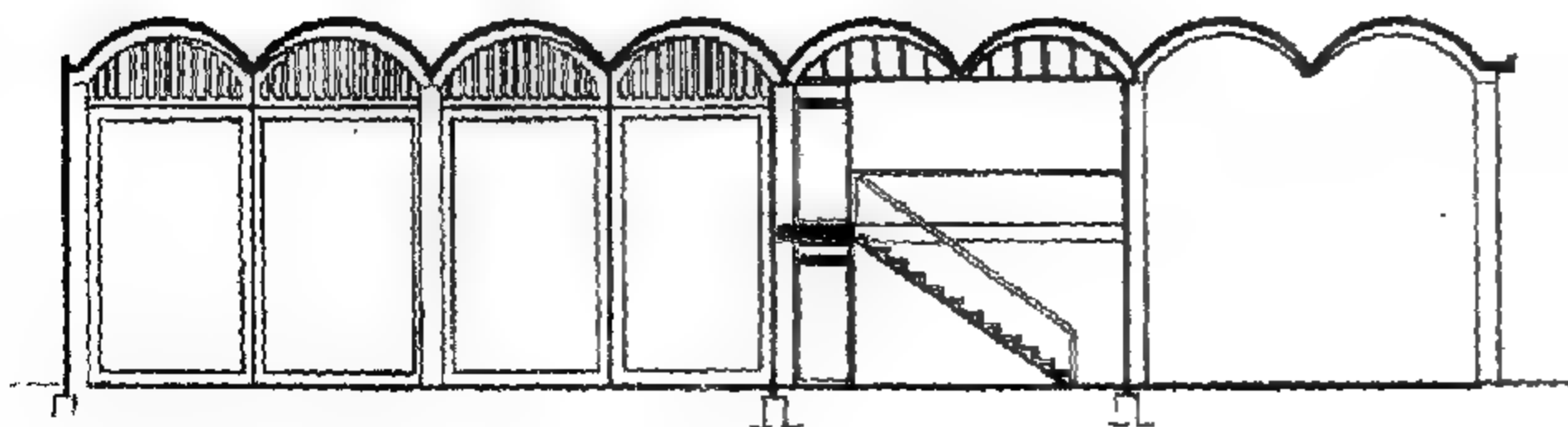
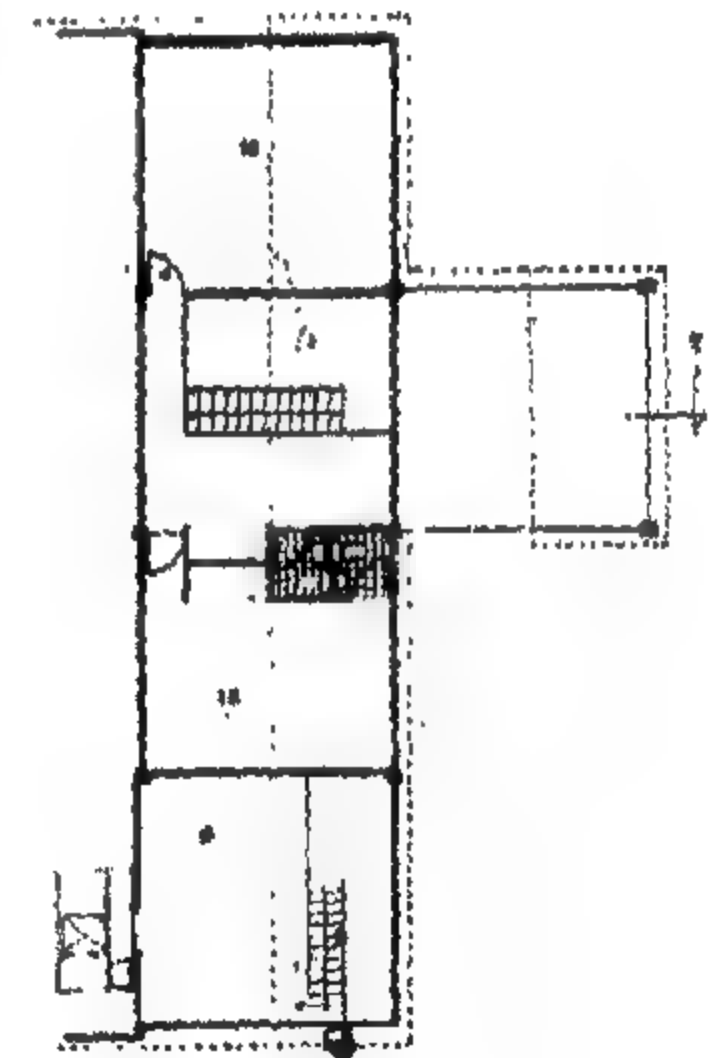
(شكل ٤٠٤) قطاع .



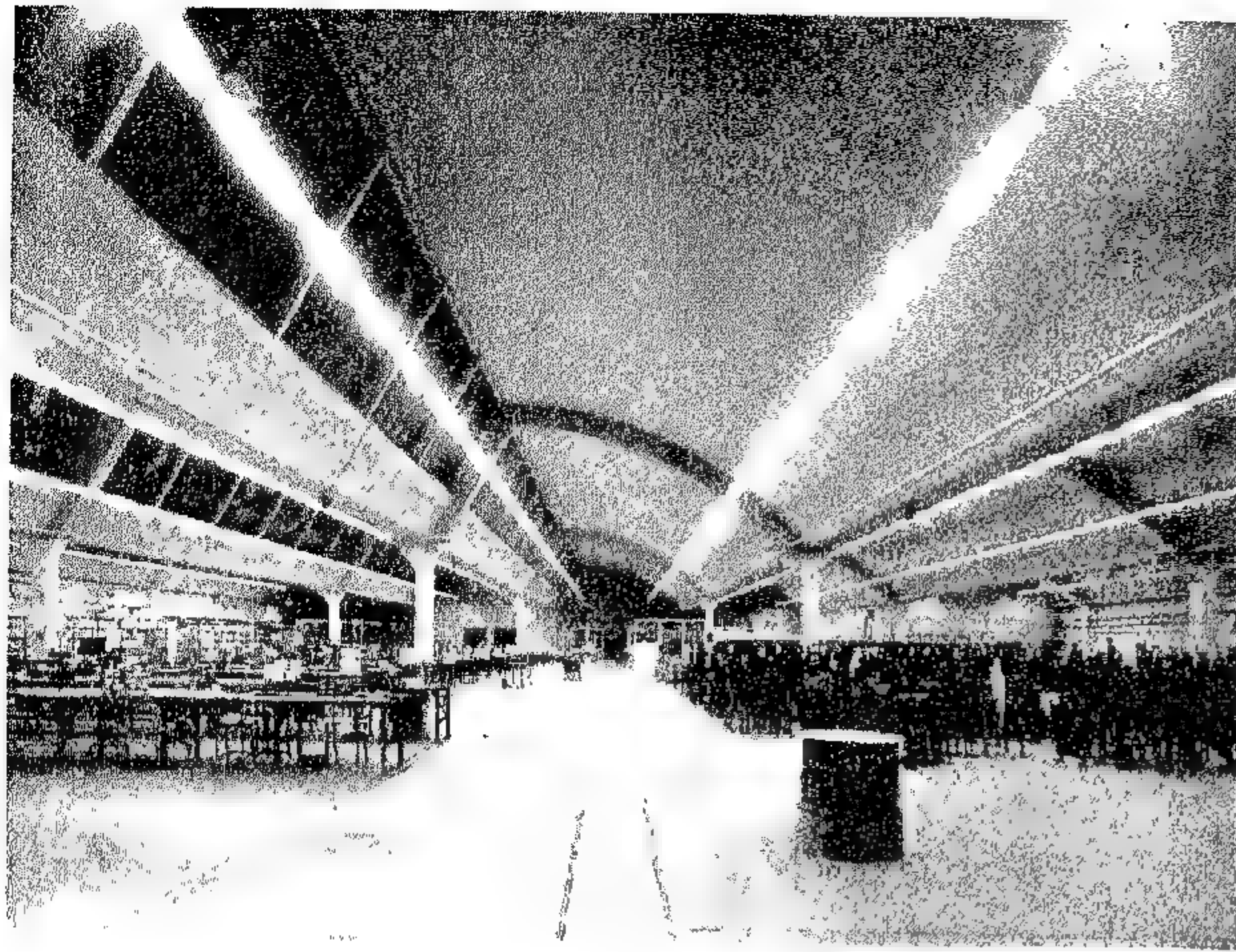
شكل ٤٠٢



شكل ٤٠٣



شكل ٤٠٤



شكل ٤٠٥

قبوات الإضاءة العلوية البحرية

(شكل ٤٠٥) صالة I.C.I. في وانايلويد

بمقاطعة سوانسى بالإنجلترا .

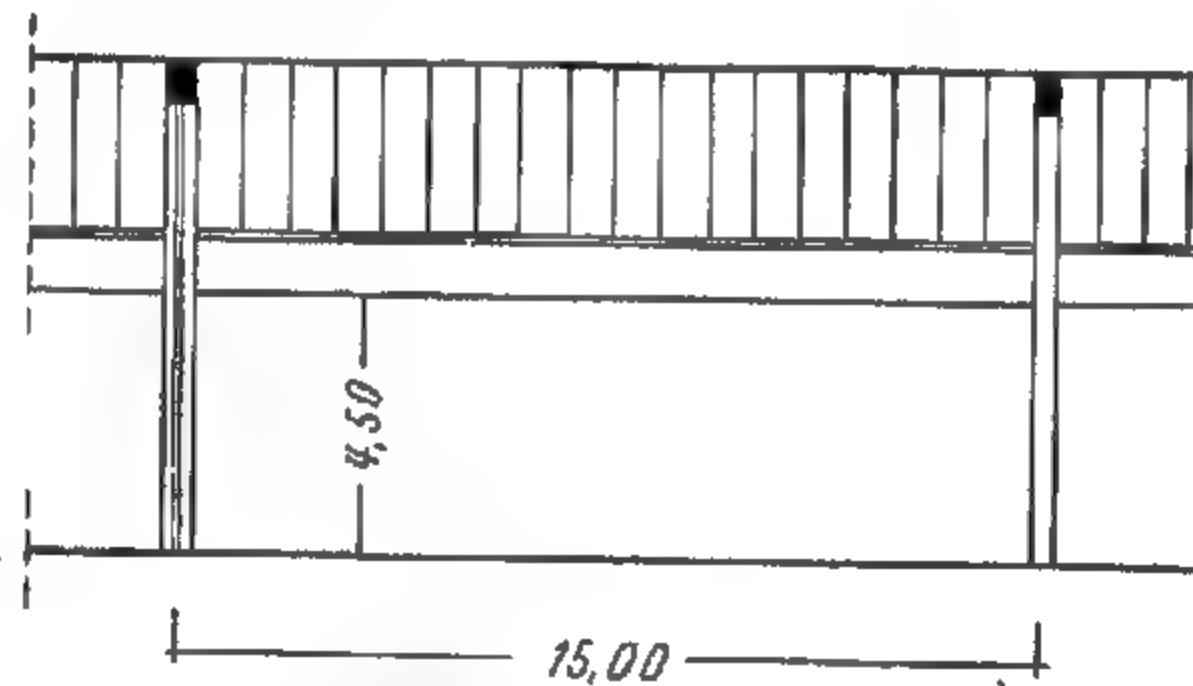
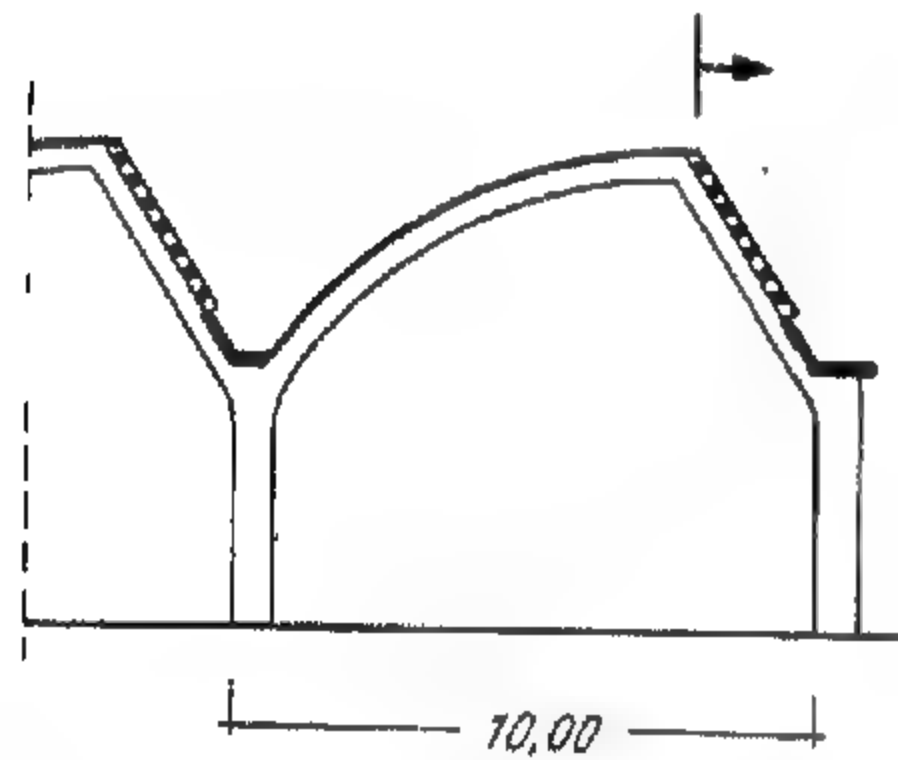
(شكل ٤٠٦) قطاع طولى وعرضى في صالة

الإنتاج بمصنع وستلاند للمطاط في لندون .

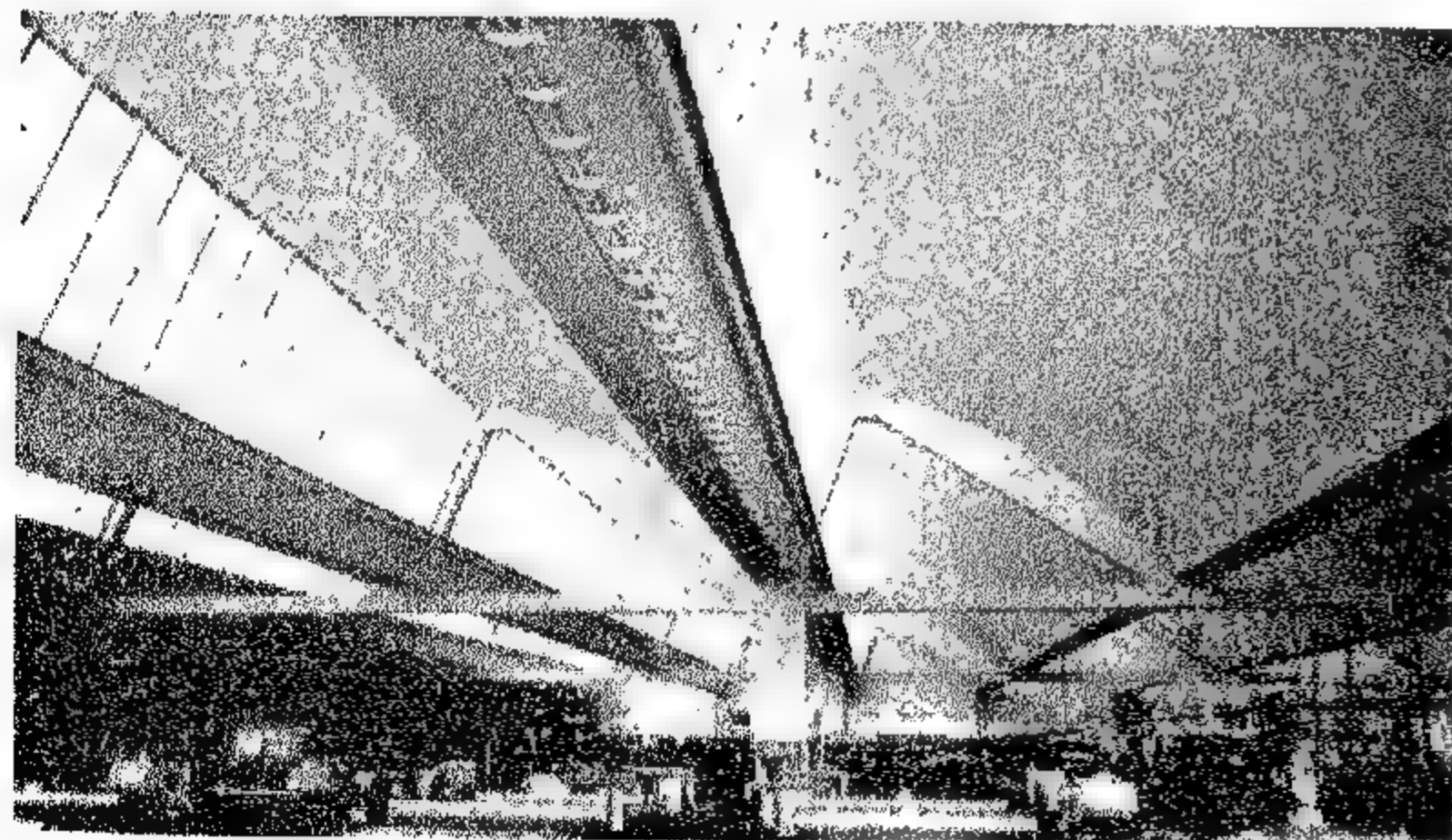
(شكل ٤٠٧) صالة الإنتاج بمصنع ويدرأوت

في مدينة فورشهيم (المهندس ف فرايتاج) .

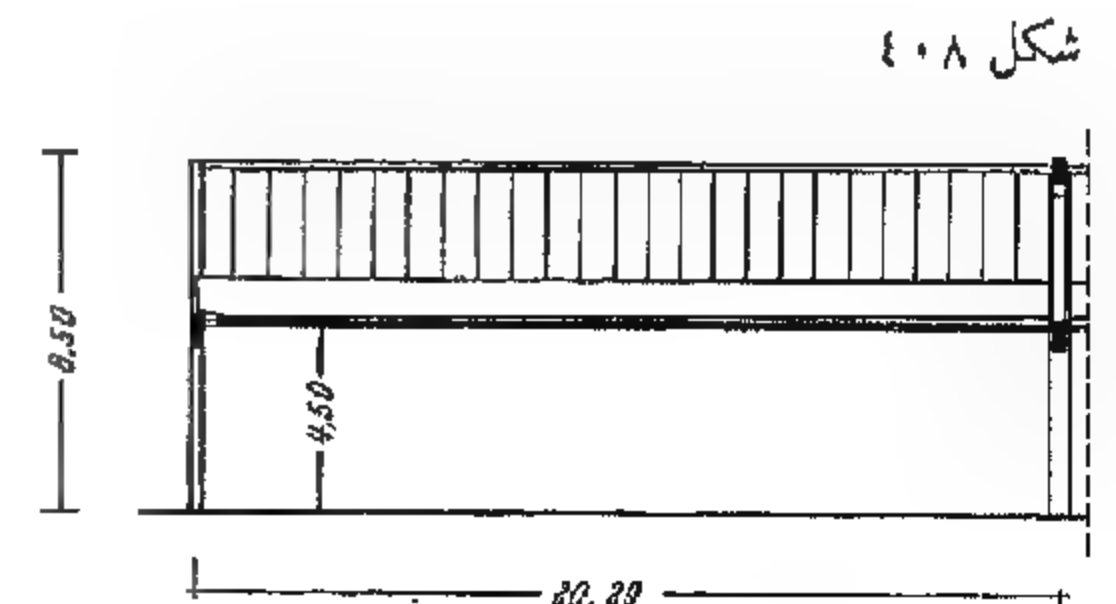
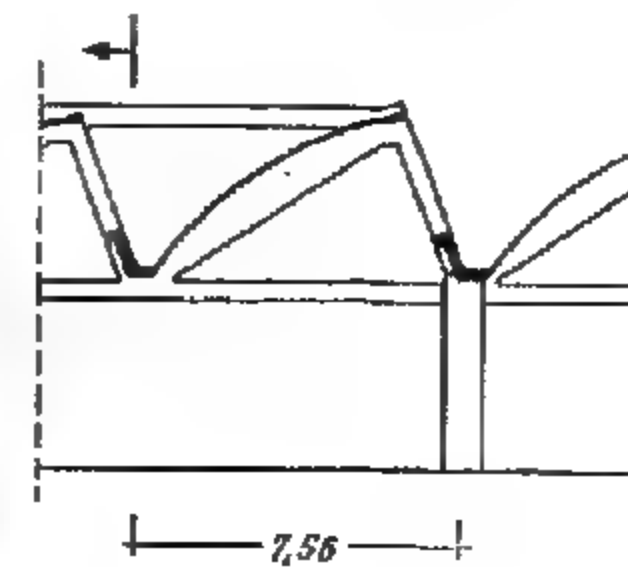
(شكل ٤٠٨) قطاع طولى وعرضى .



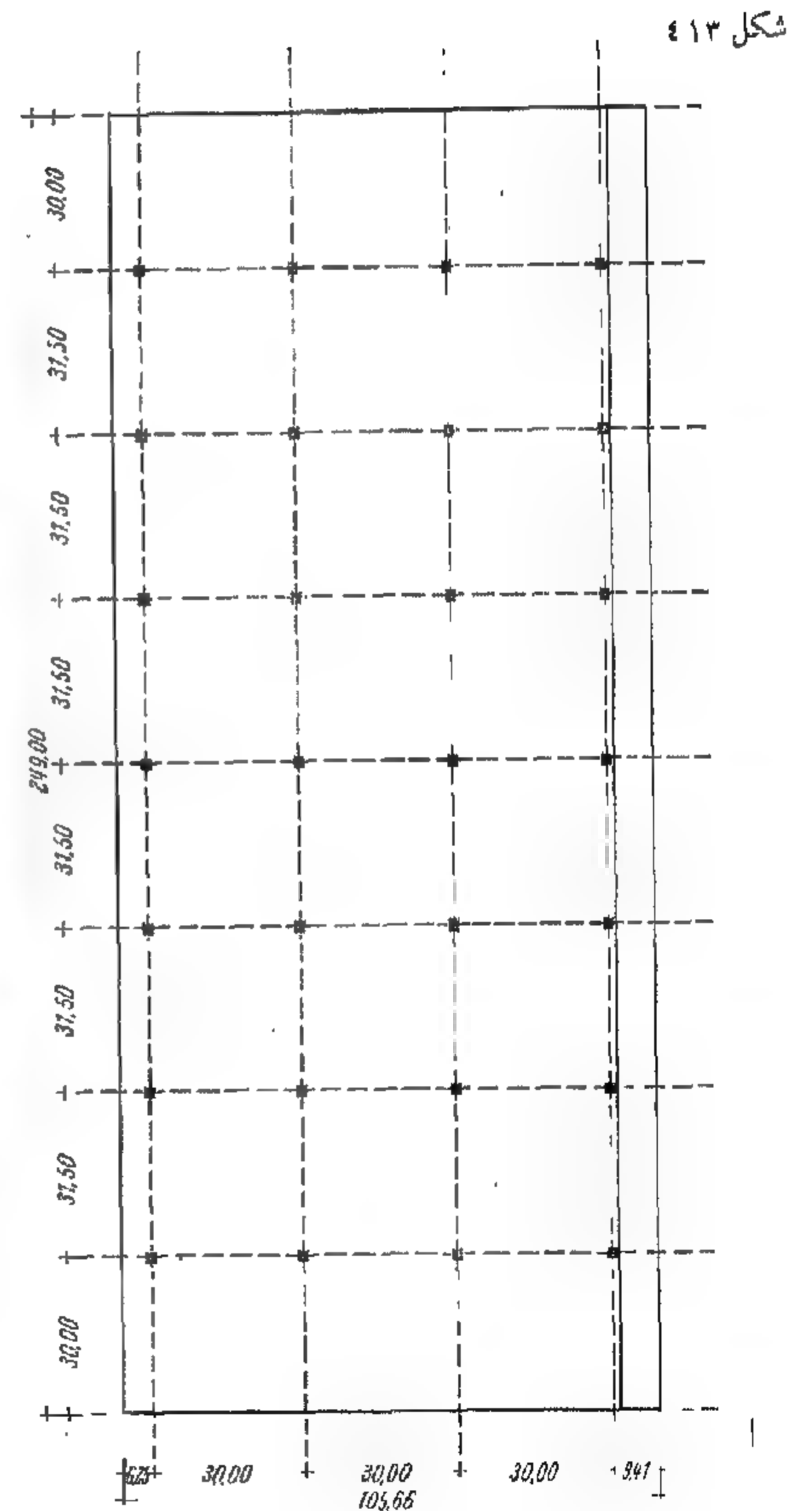
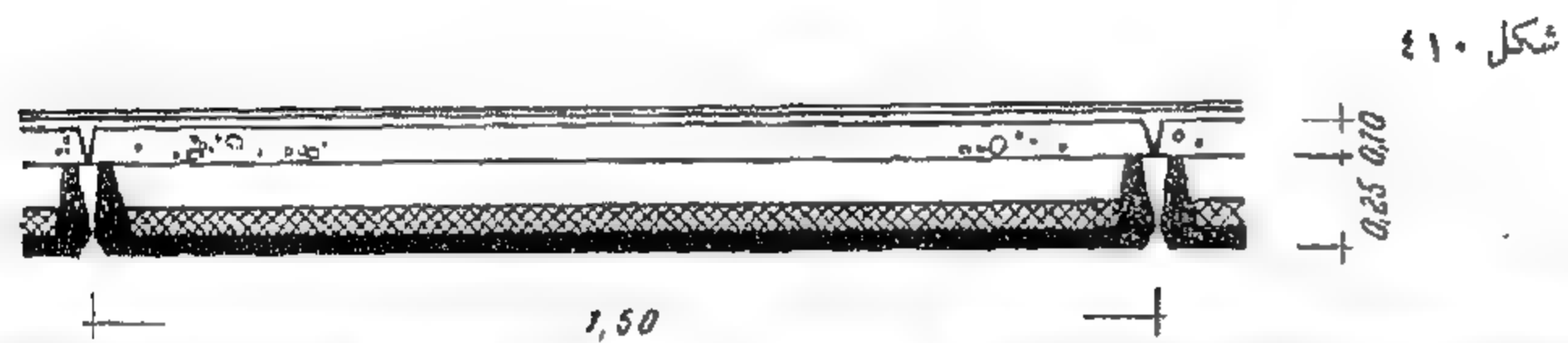
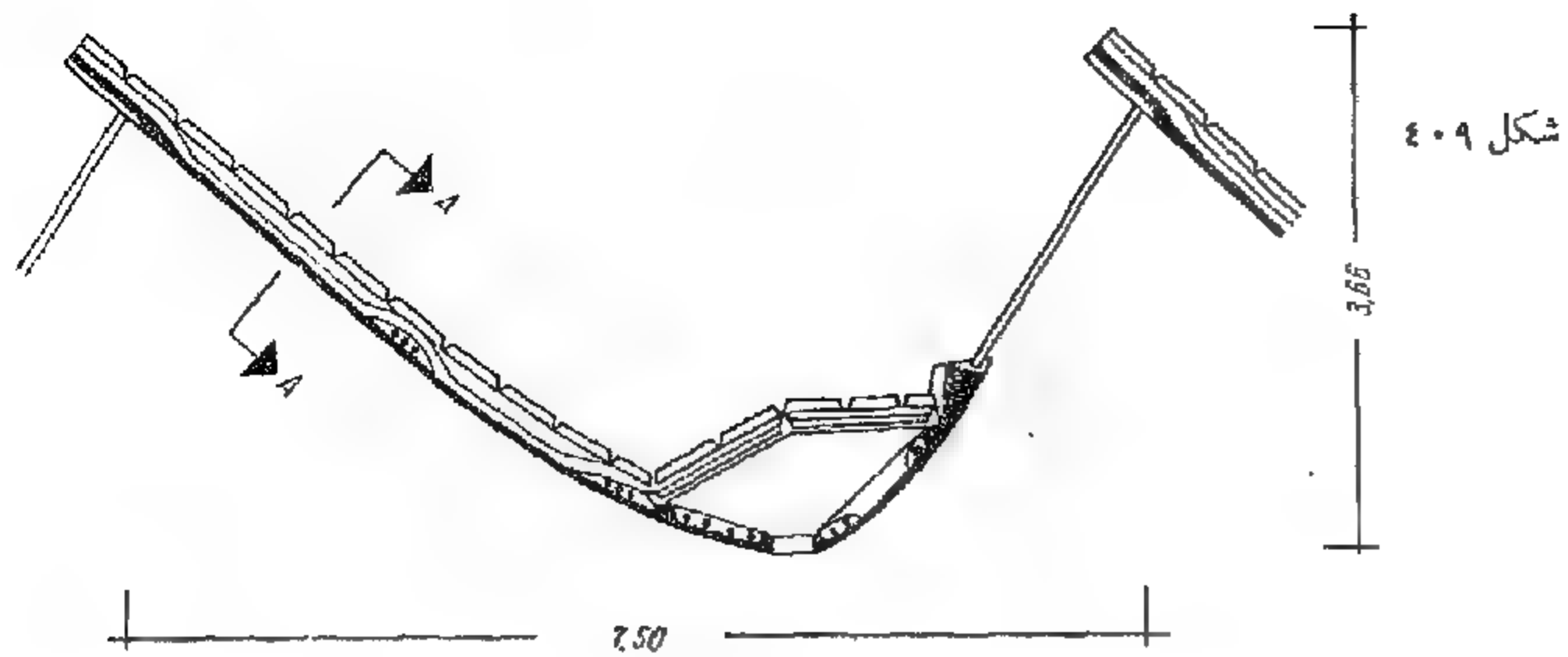
شكل ٤٠٦



شكل ٤٠٧



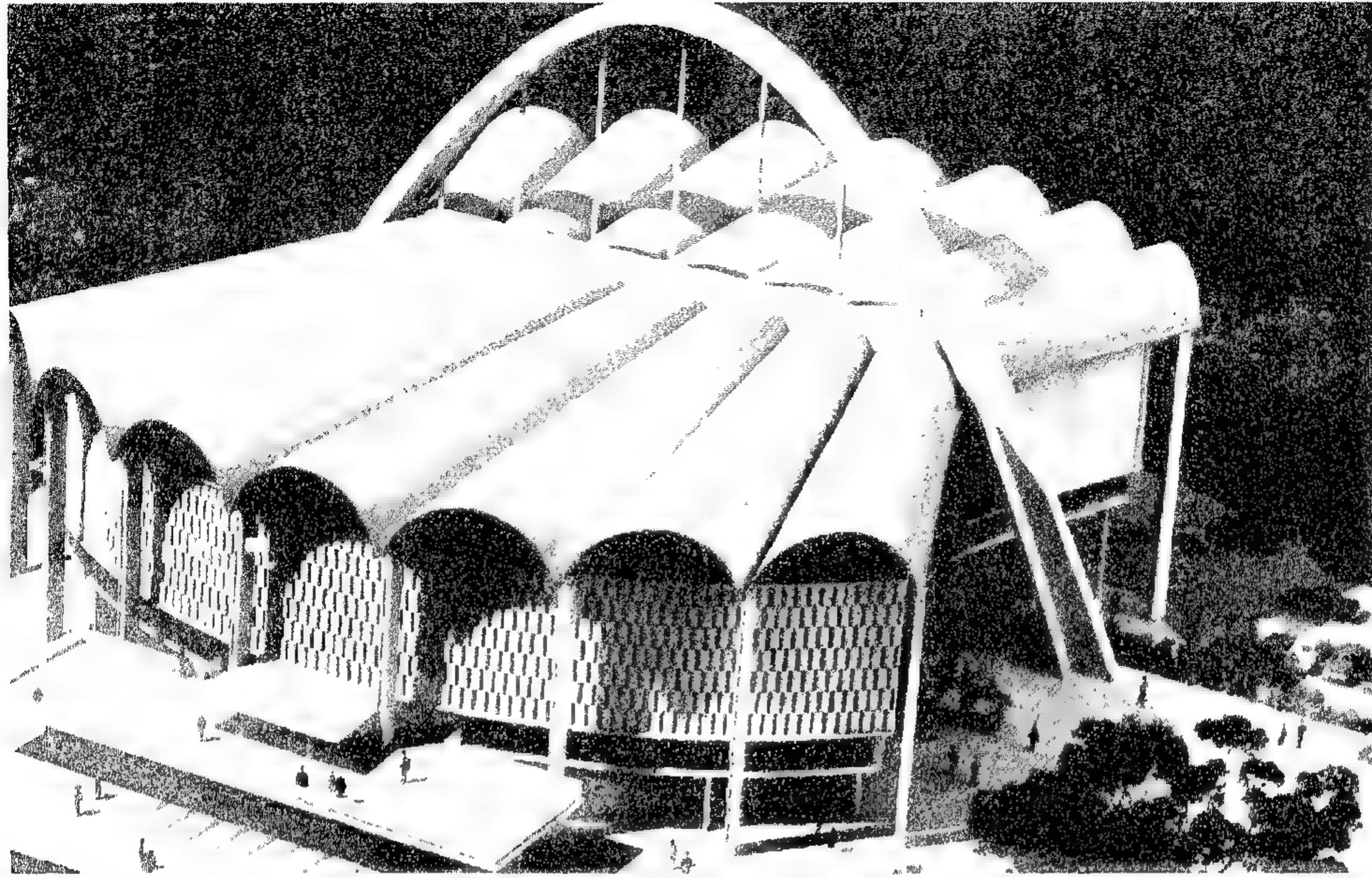
شكل ٤٠٨



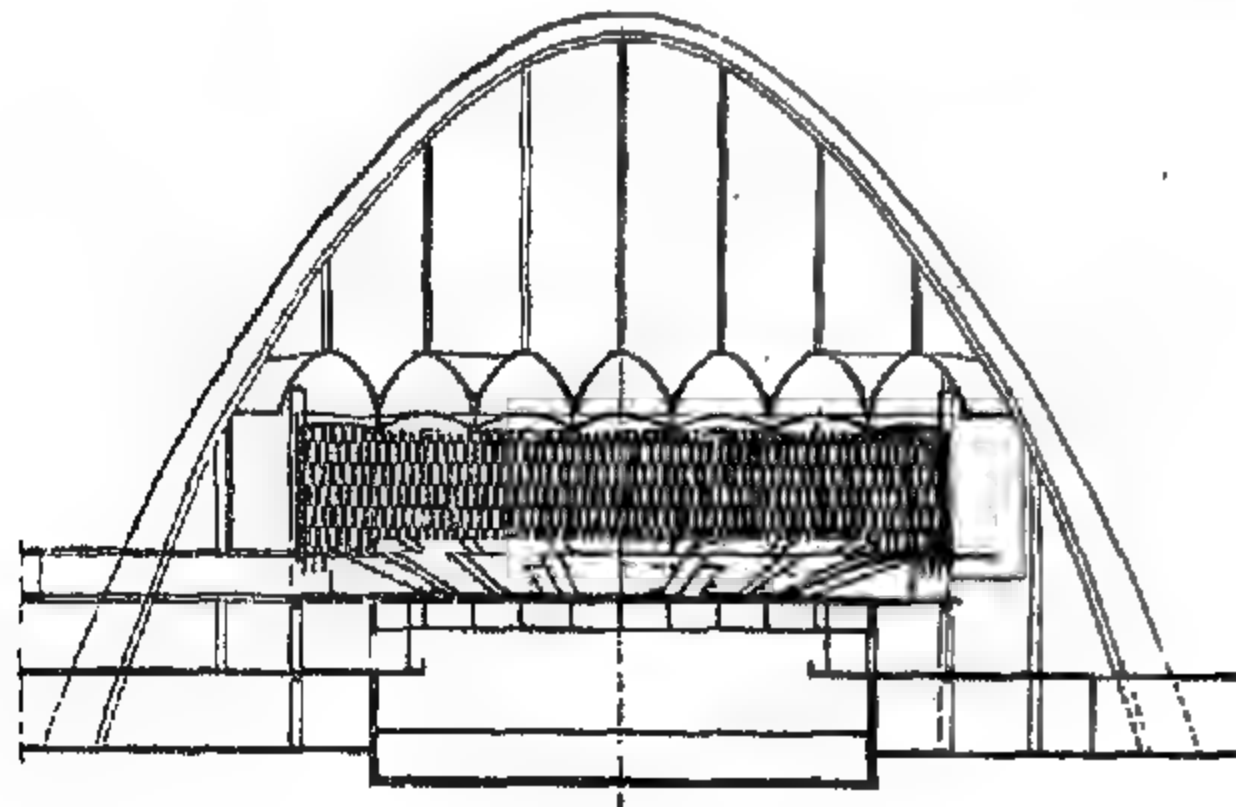
قبوات مقفلة للإضاءة العلوية البحرية

مصنع نسيج في مدينة كالش ببولندا ١٩٥٨

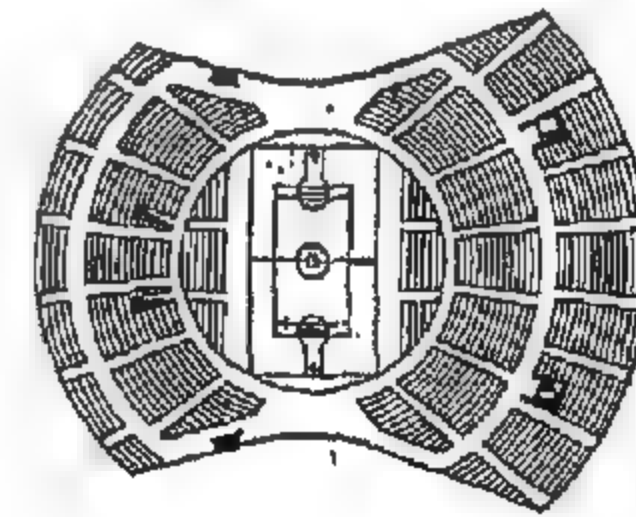
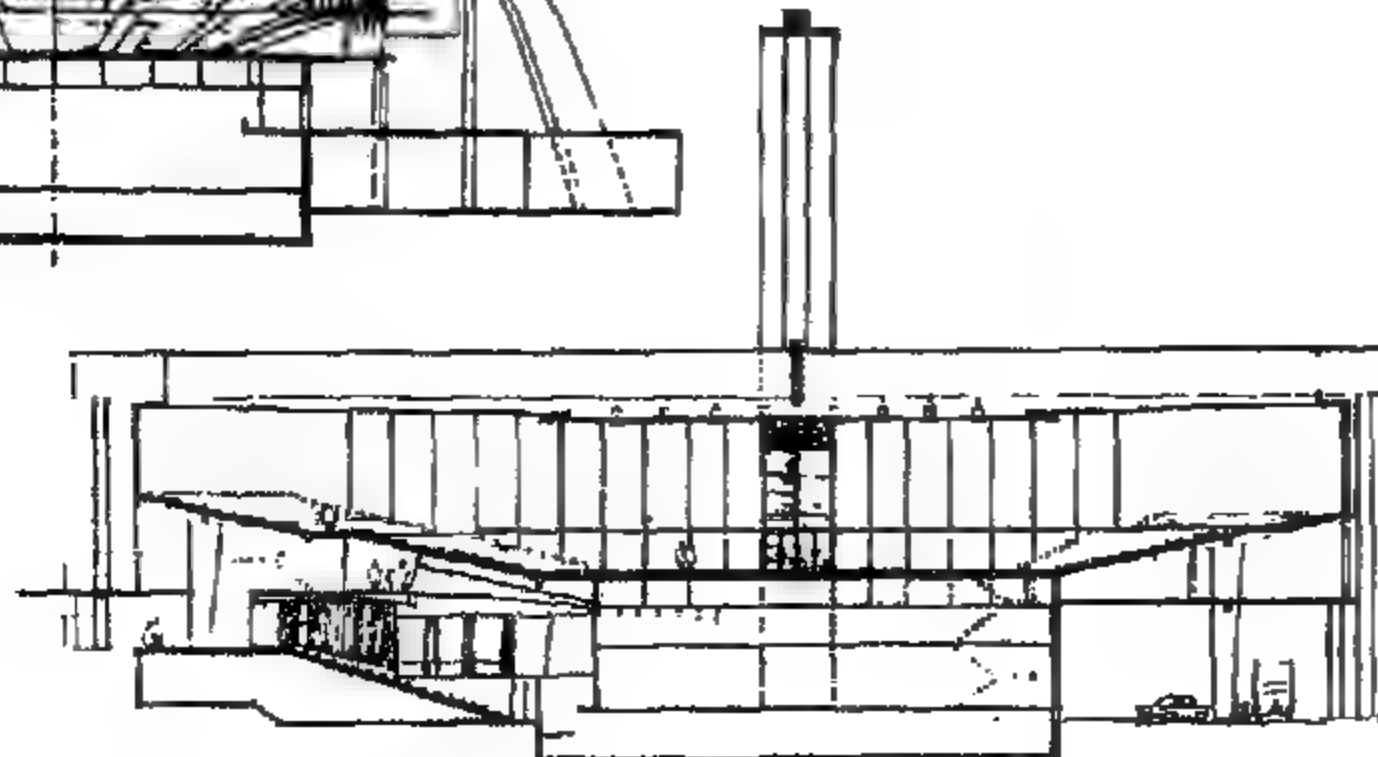
- (شكل ٤٠٩) قطاع عرضي تفصيلي في القبو وفي الفتحة الزجاجية .
- (شكل ٤١٠) قطاع طولي تفصيلي في الوحدات الجاهزة المكونة للقبو .
- (شكل ٤١١) مقارنة بين القبو المحمدب التقليدي والقبو المقعر المستعمل .
- (شكل ٤١٢) منظور داخلي بالمصنع .
- (شكل ٤١٣) مسقط أفقي للمصنع .



شكل ٤١٤

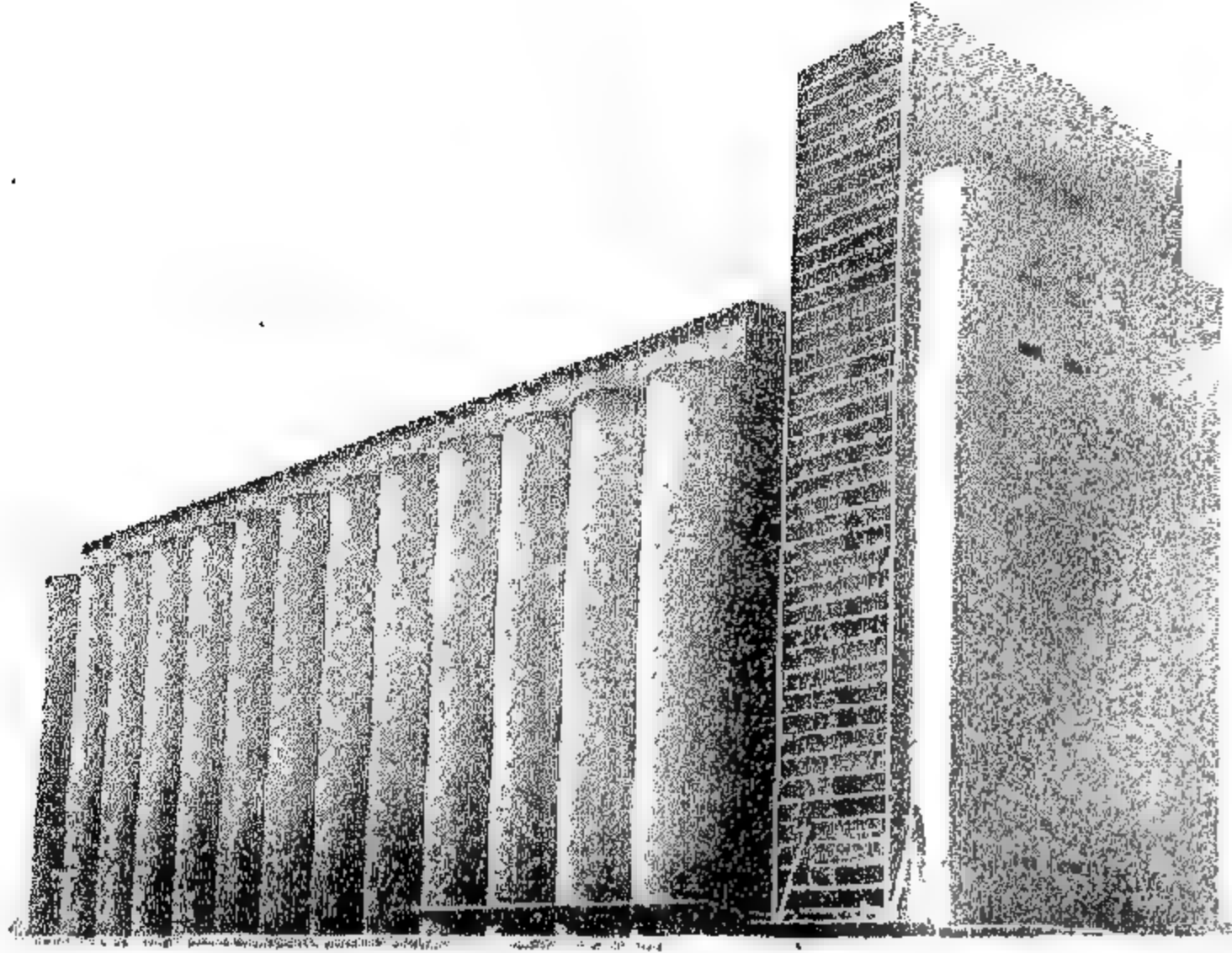


شكل ٤١٥

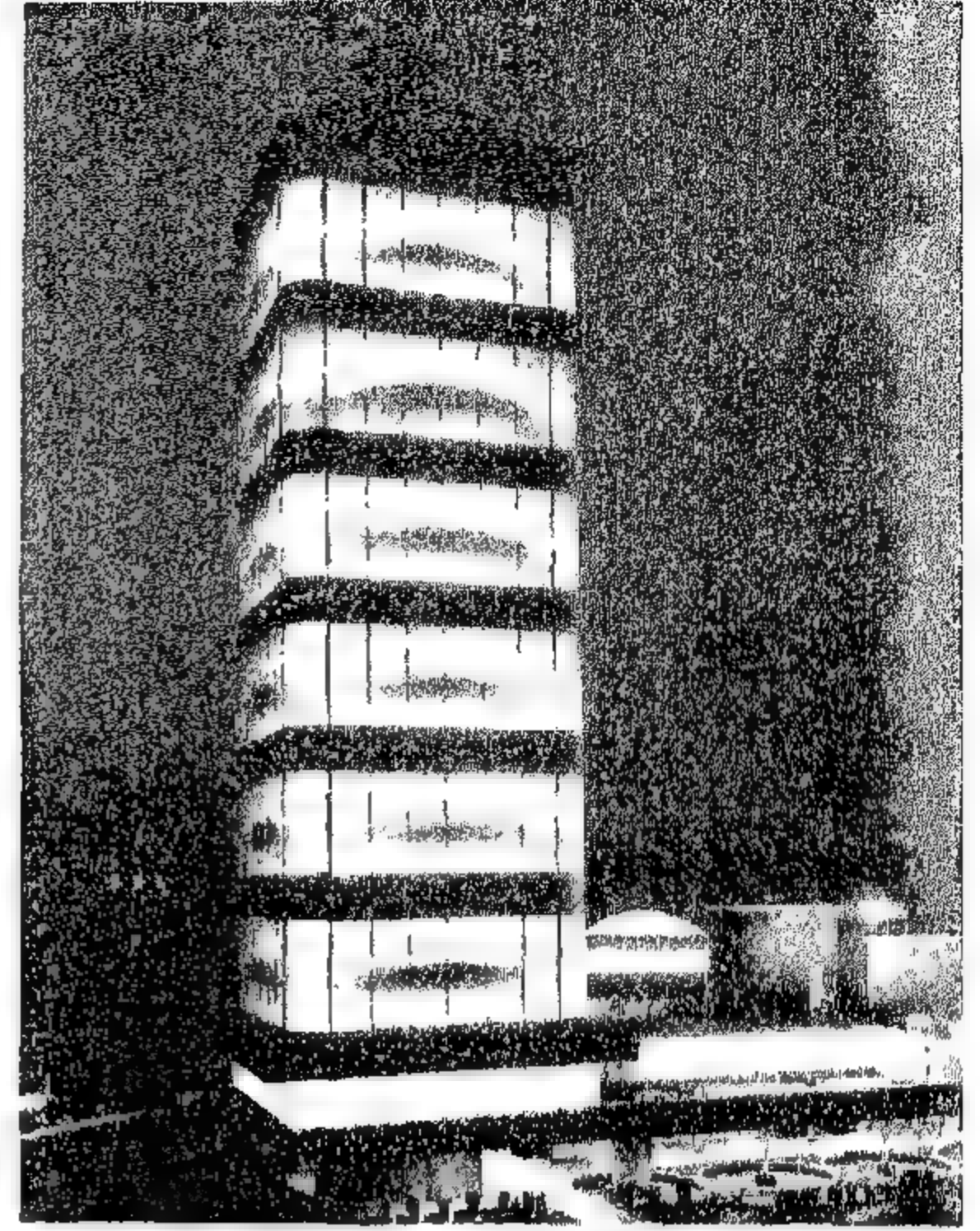


قبوات طويلة مخروطية

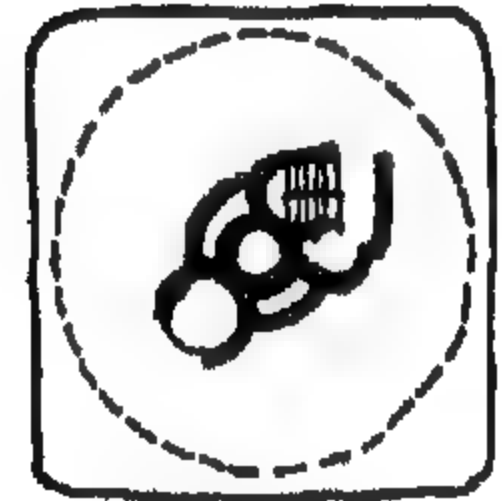
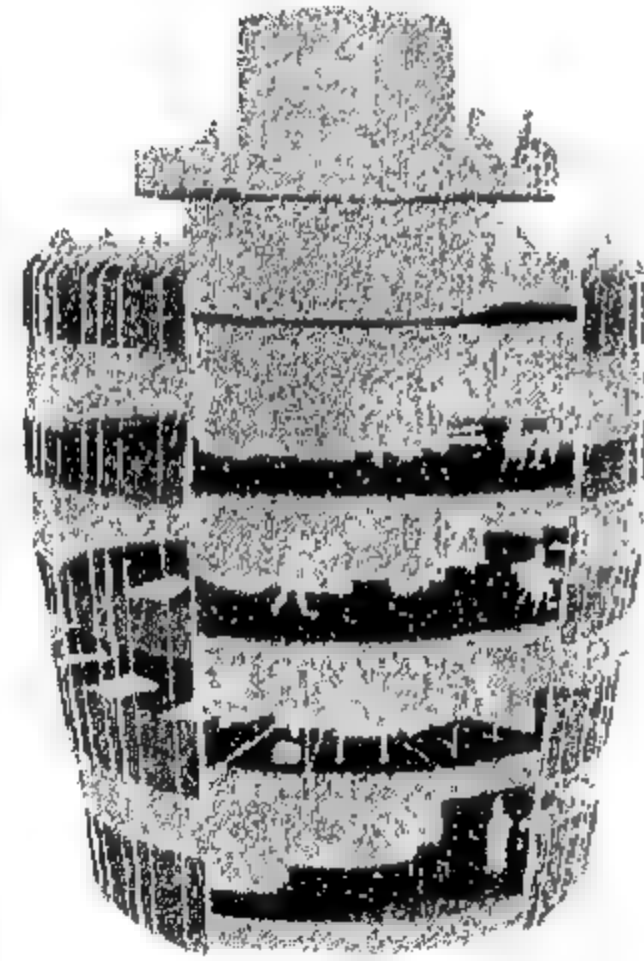
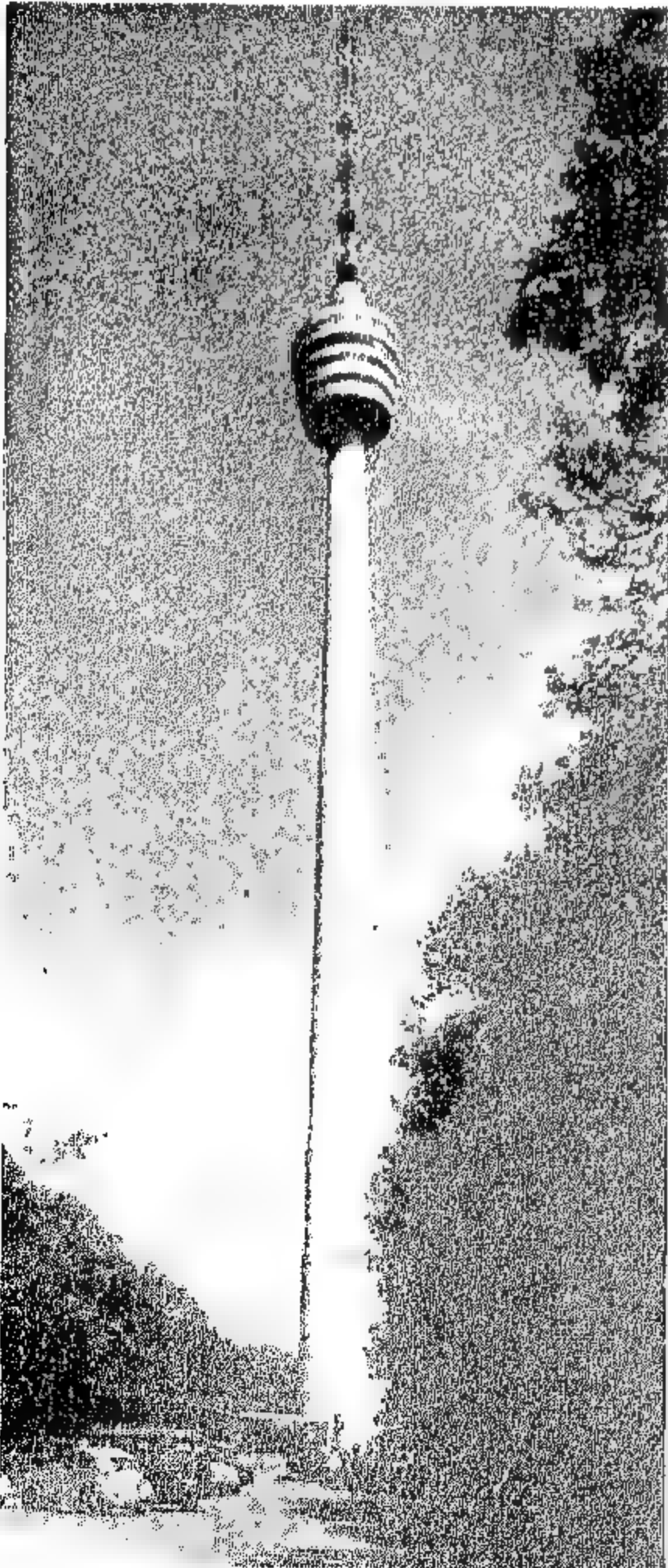
مشروع لمسرح متعدد الاستعمالات لمدينة تالاهاسي
بولاية فلوريدا (المماريين المتعاونين والإنشائيين
ويدلنجر و سالفادوري) .
(شكل ٤١٤) منظور عام للمسرح .
(شكل ٤١٥) مقاطعات طولية عرضية - ومسقط
لتنظيم المقاعد أثناء مباريات التنس وكرة السلة .



شكل ٤١٦



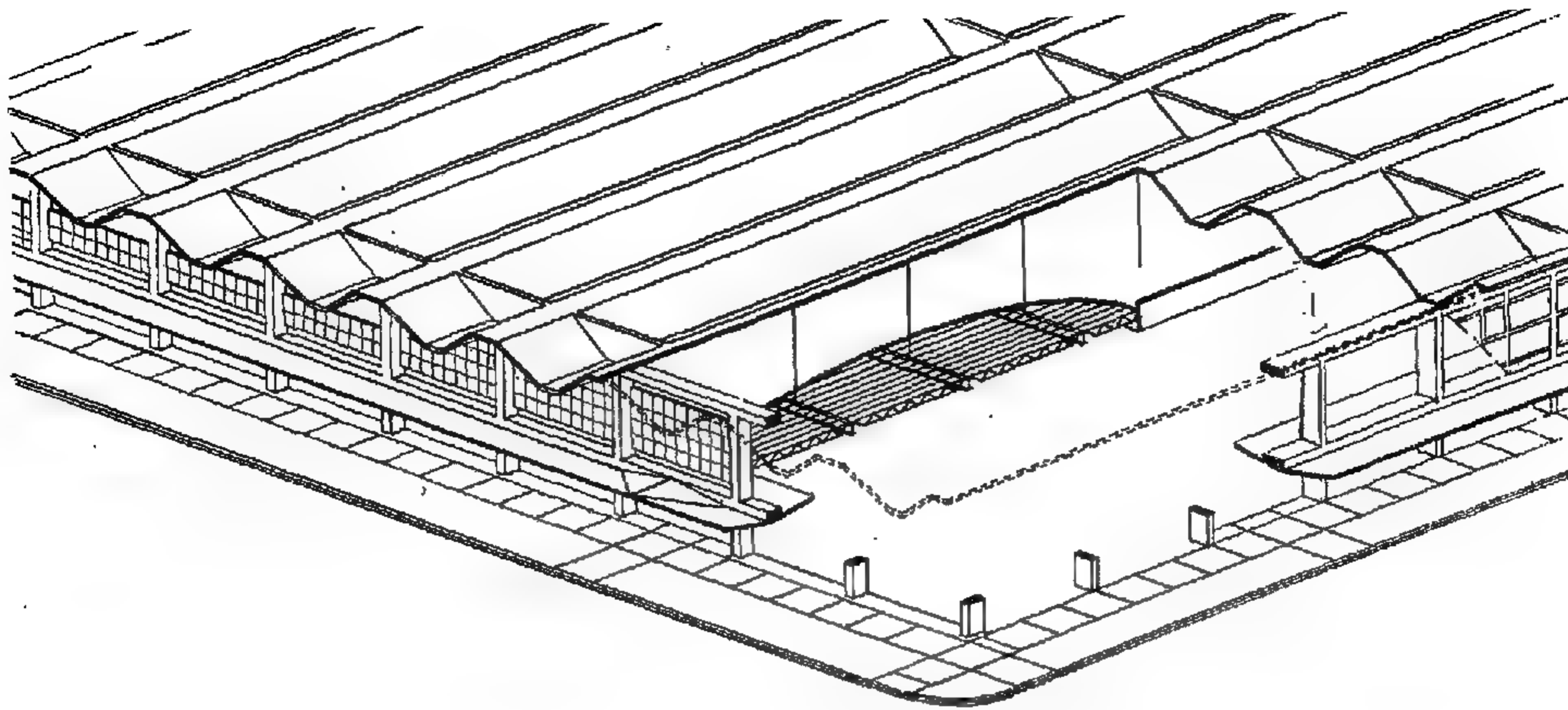
شكل ٤١٩



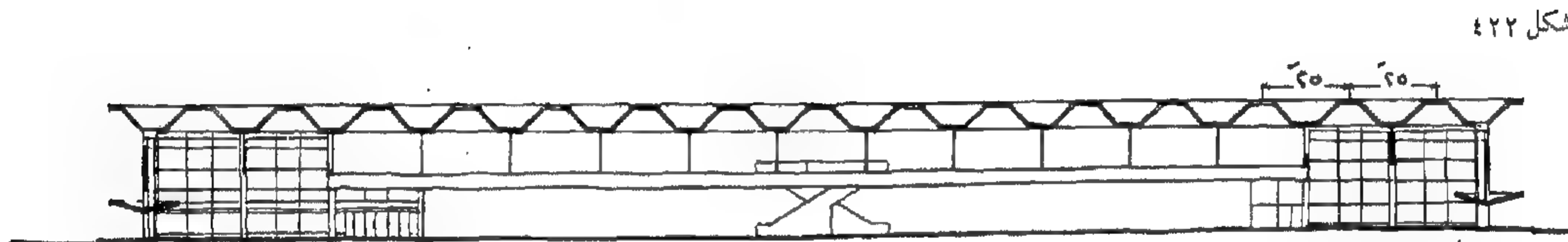
شكل ٤١٨

وحدات رأسية مفردة الانحناء

- (شكل ٤١٦) صوامع الفلال الأسطوانية في الإسكندرية .
- (شكل ٤١٧) برج المعامل في مركز شركة جونسون واكس في مدينة راسين بولاية ويسكنسن .
- (شكل ٤١٨) مسقط أفق البرج .
- (شكل ٤١٩) برج تليفزيون ستجارت .
- (شكل ٤٢٠) منظور لأدوار المطاعم والخدمة بنهاية البرج .



شكل ٤٢١



شكل ٤٢٢

وحدات منطقة أفقية - قطاع سمي

(المباريين ويدرواسل وجونسون والإنشائيين

أمان وويتني)

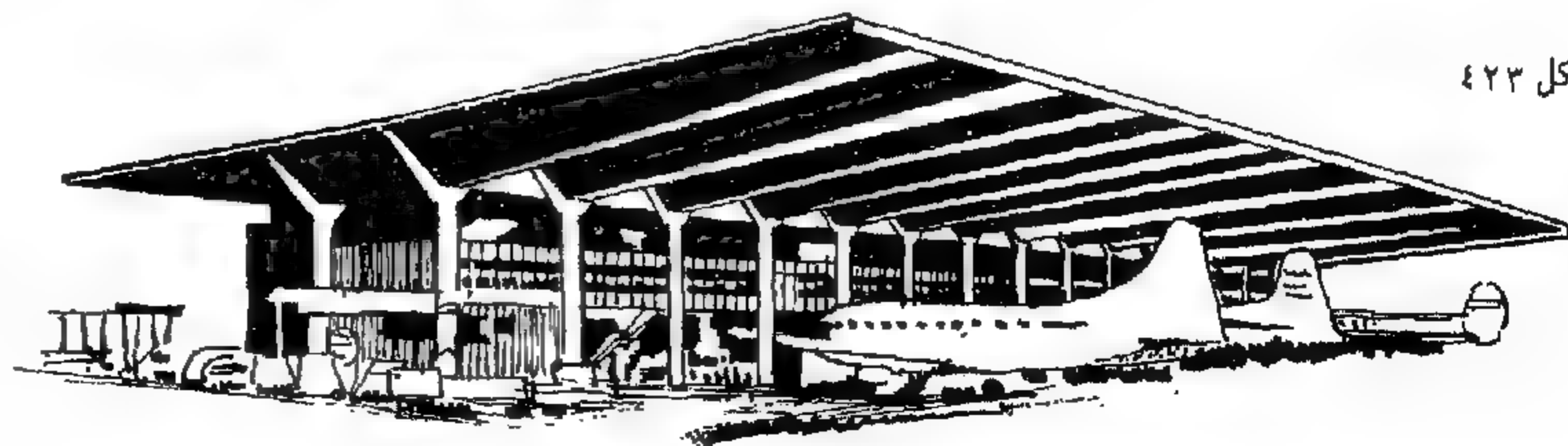
(شكل ٤٢١) مخازن سيرز وروباك في مدينة

تامبا بفلوريدا .

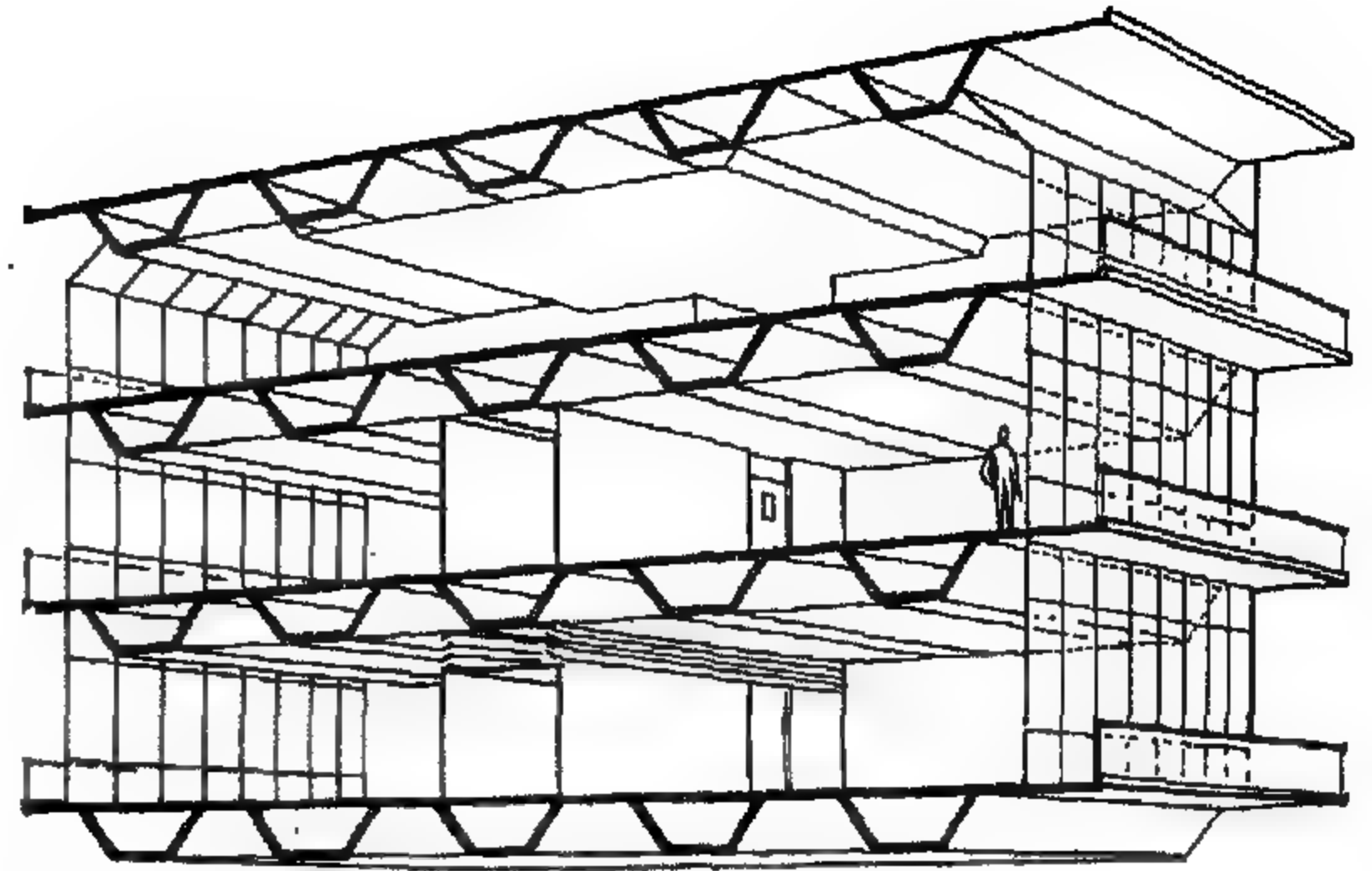
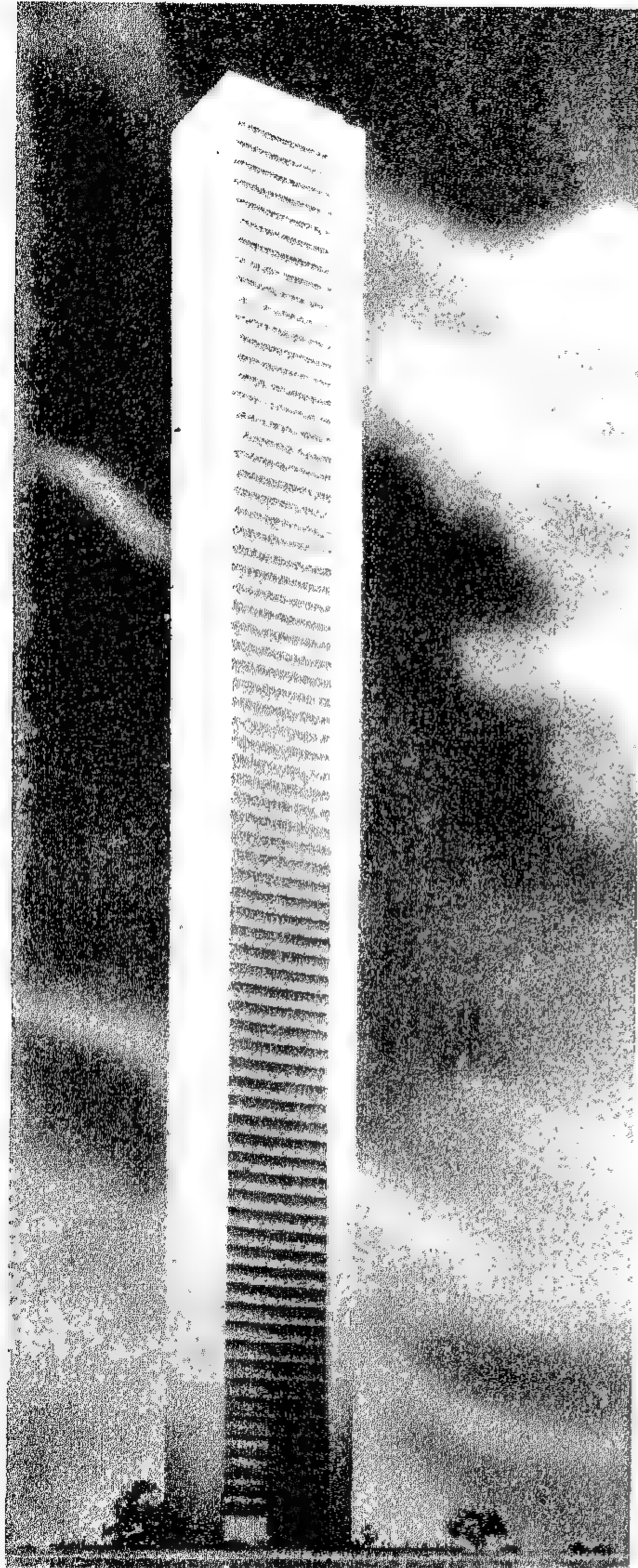
(شكل ٤٢٢) قطاع بالمخلات المذكورة .

(شكل ٤٢٣) حظيرة طائرات شركة

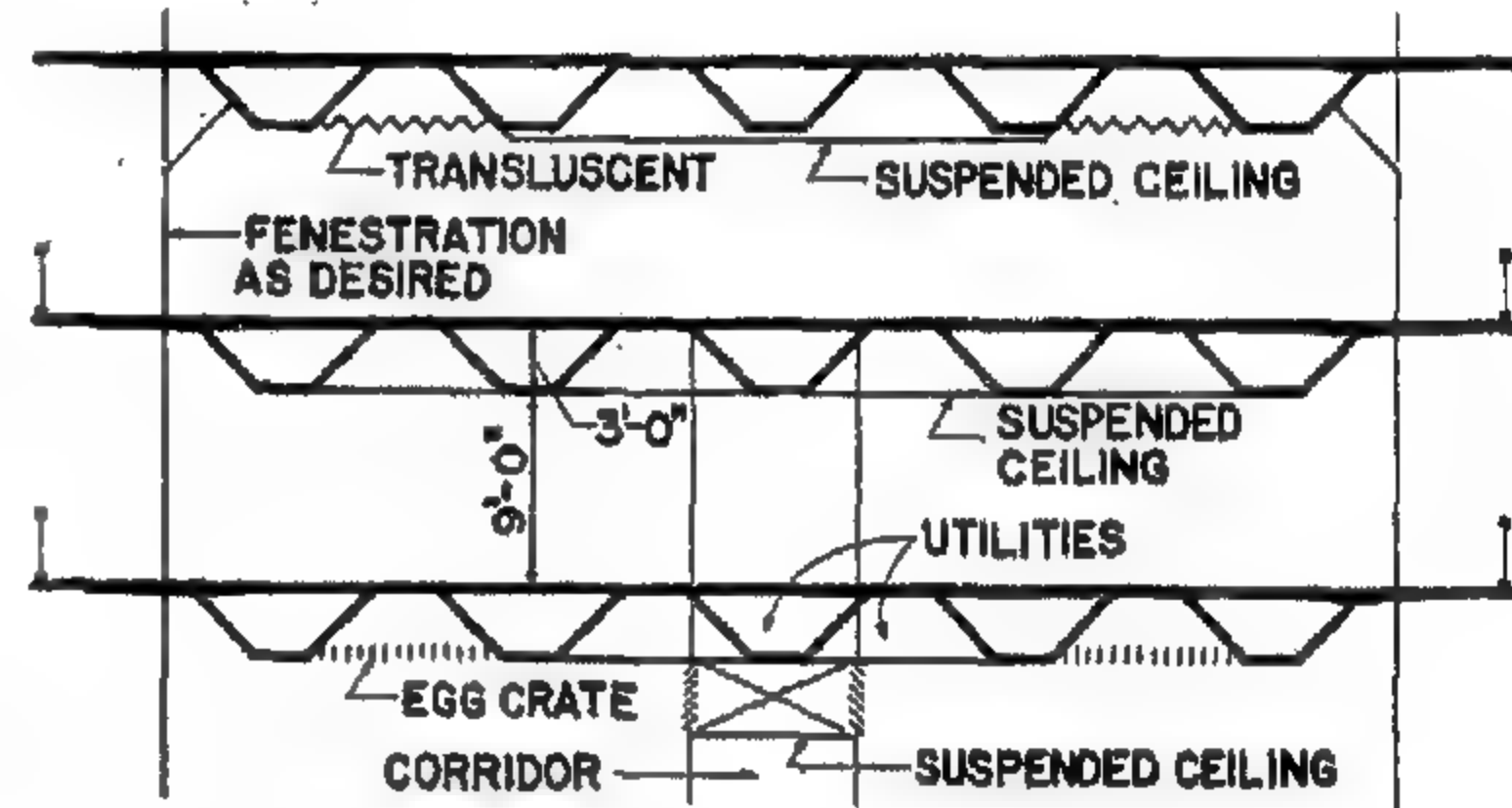
ناشيونال إيرلاينز في مدينة ميامي بفلوريدا .



شكل ٤٢٣



شكل ٤٢٤



وحدات متطبقة أفقية - (قطاع سمي)

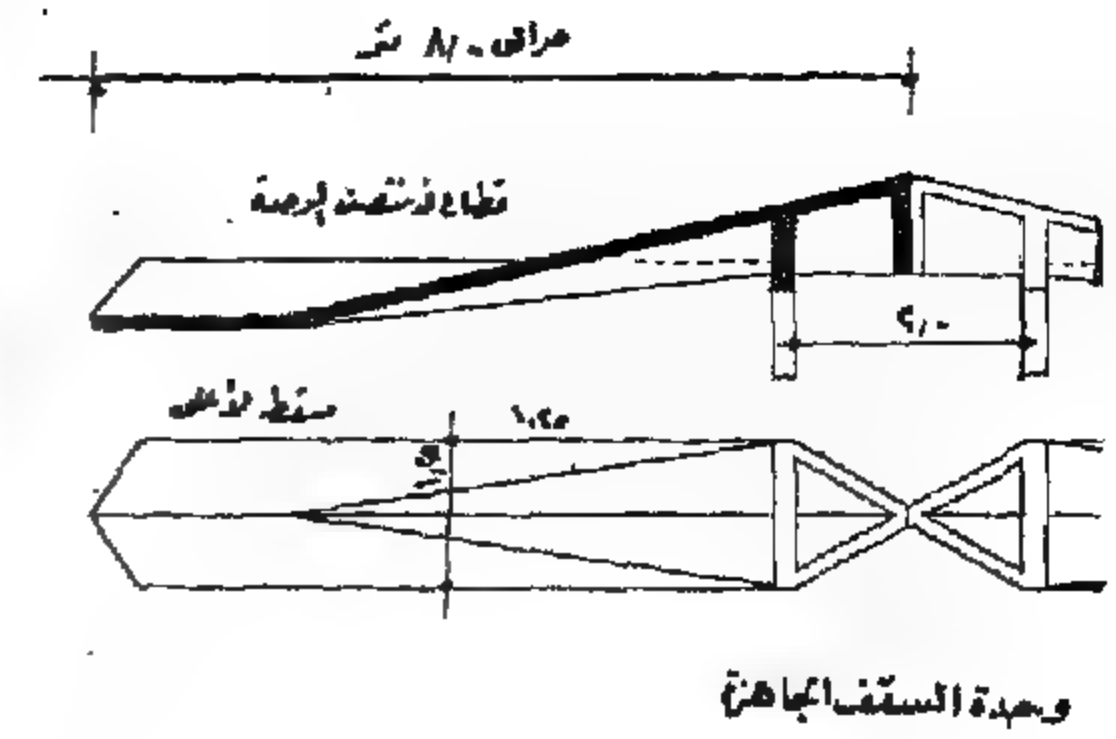
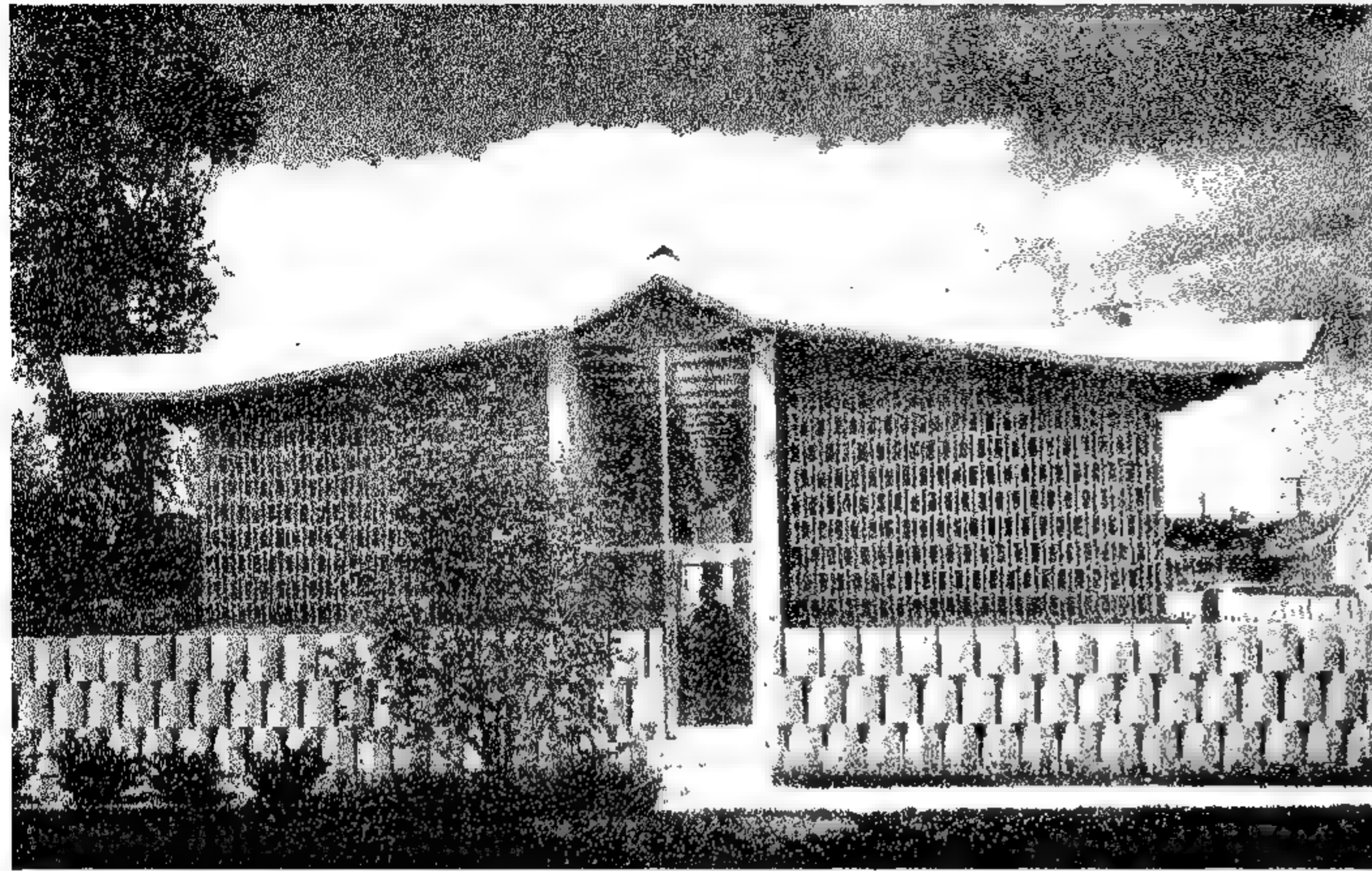
(شكل ٤٢٤) مشروع لنافذة سحب خرسانية من ٩٠ دورا

ذات أسقف مسنمة - منظور لقطاع عرضي (الإنشائي بريد
أندرسون).

(شكل ٤٢٥) منظور خارجي عام.

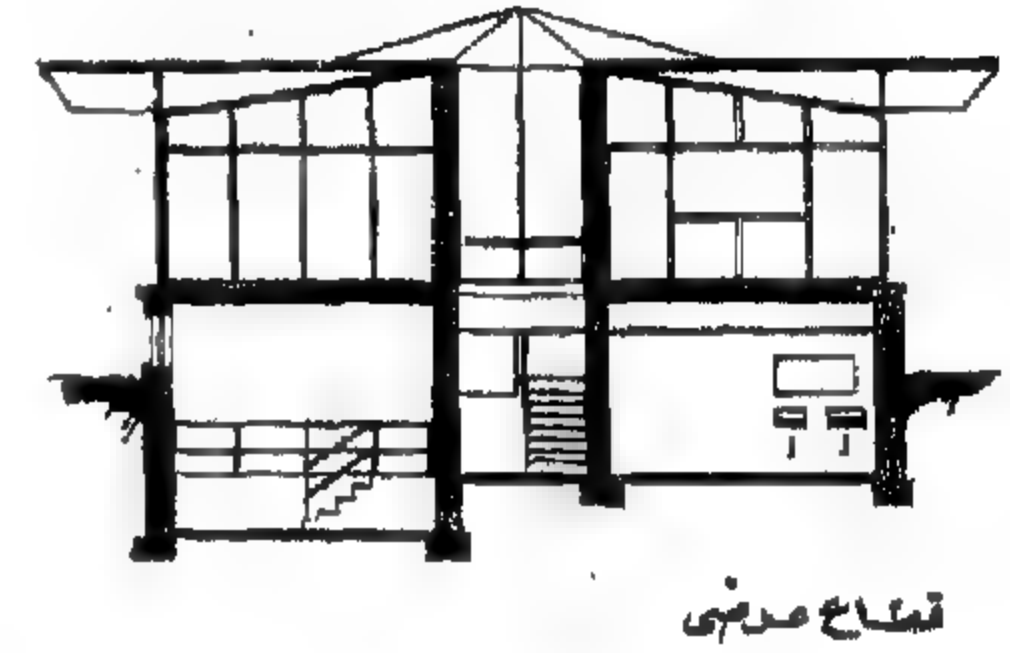
شكل ٤٢٥

شكل ٤٢٦



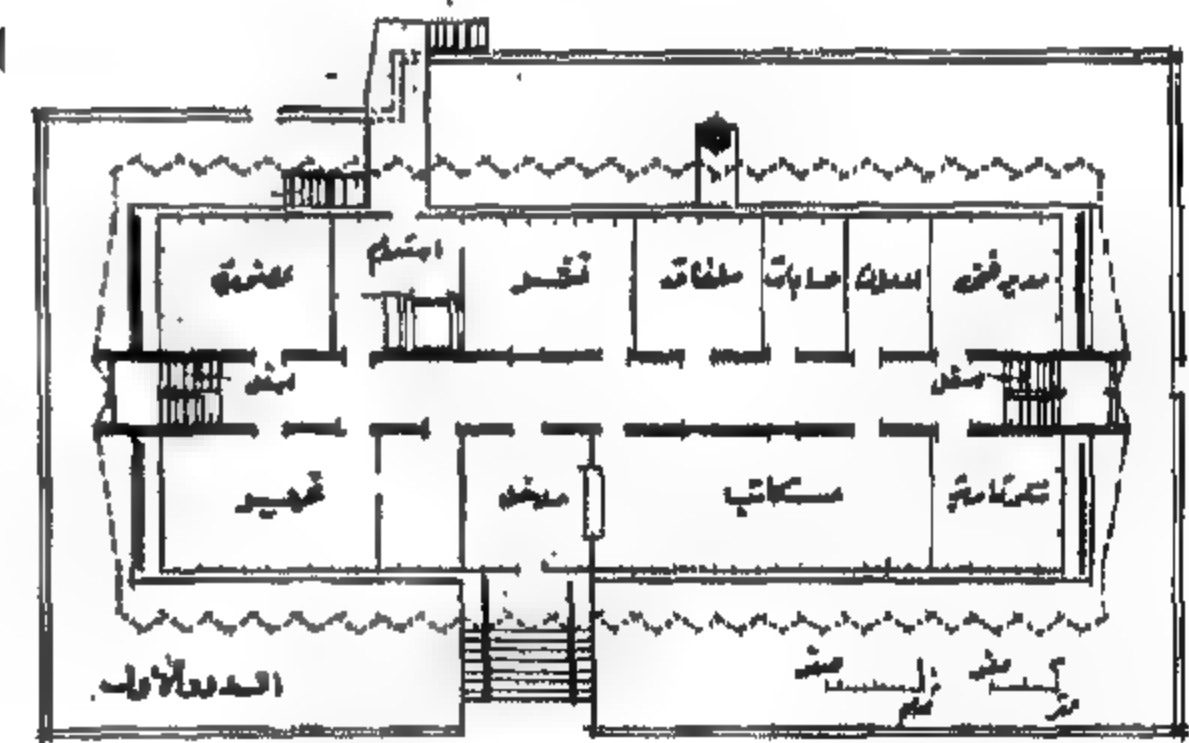
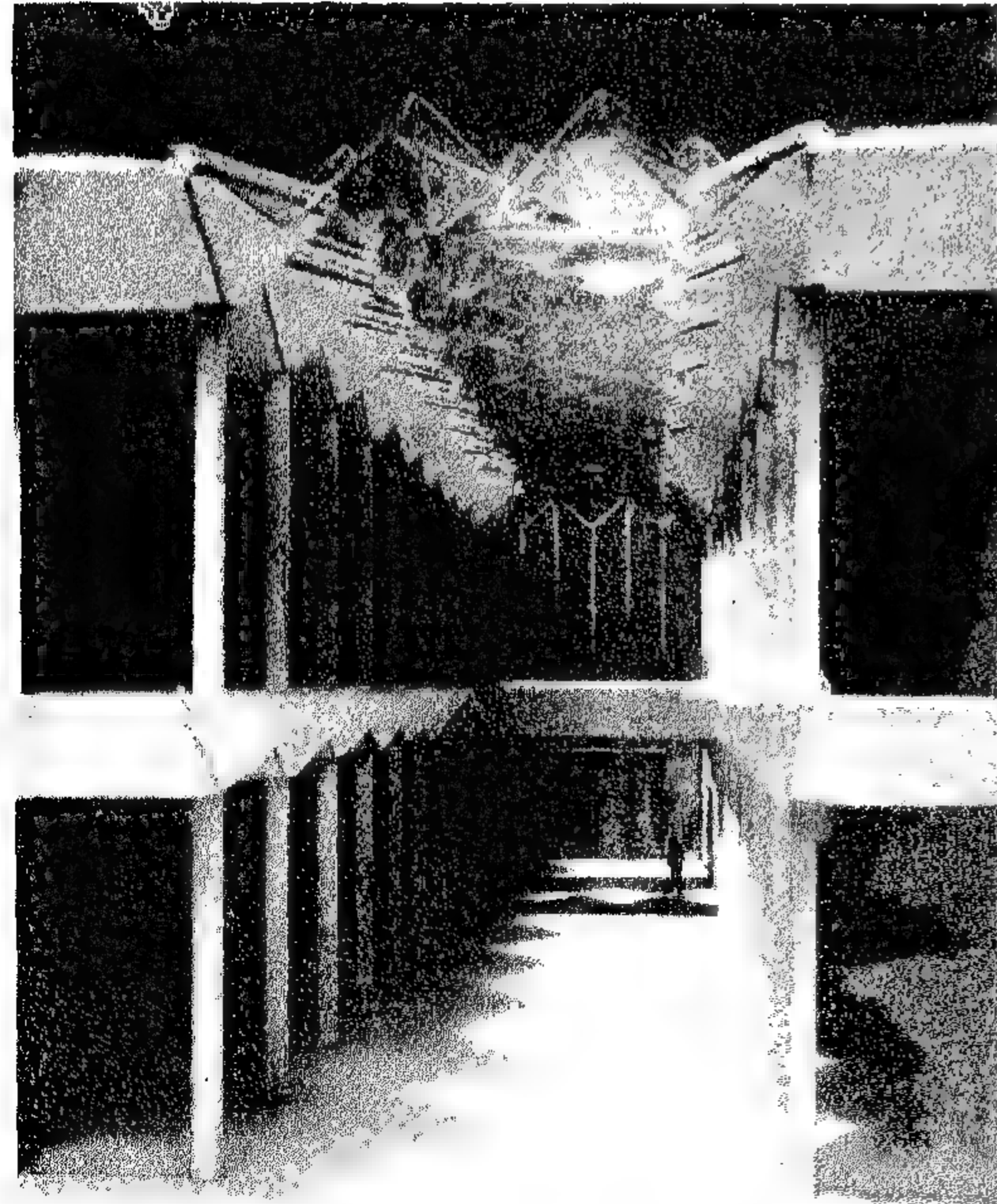
وحدة السقف الجاهزة

شكل ٤٢٧



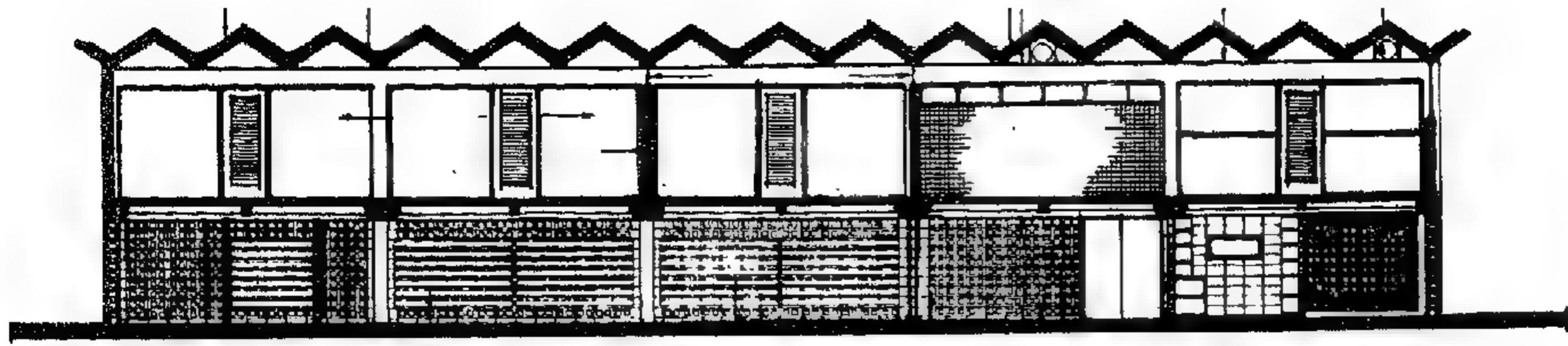
قطاع عرضي

شكل ٤٢٨

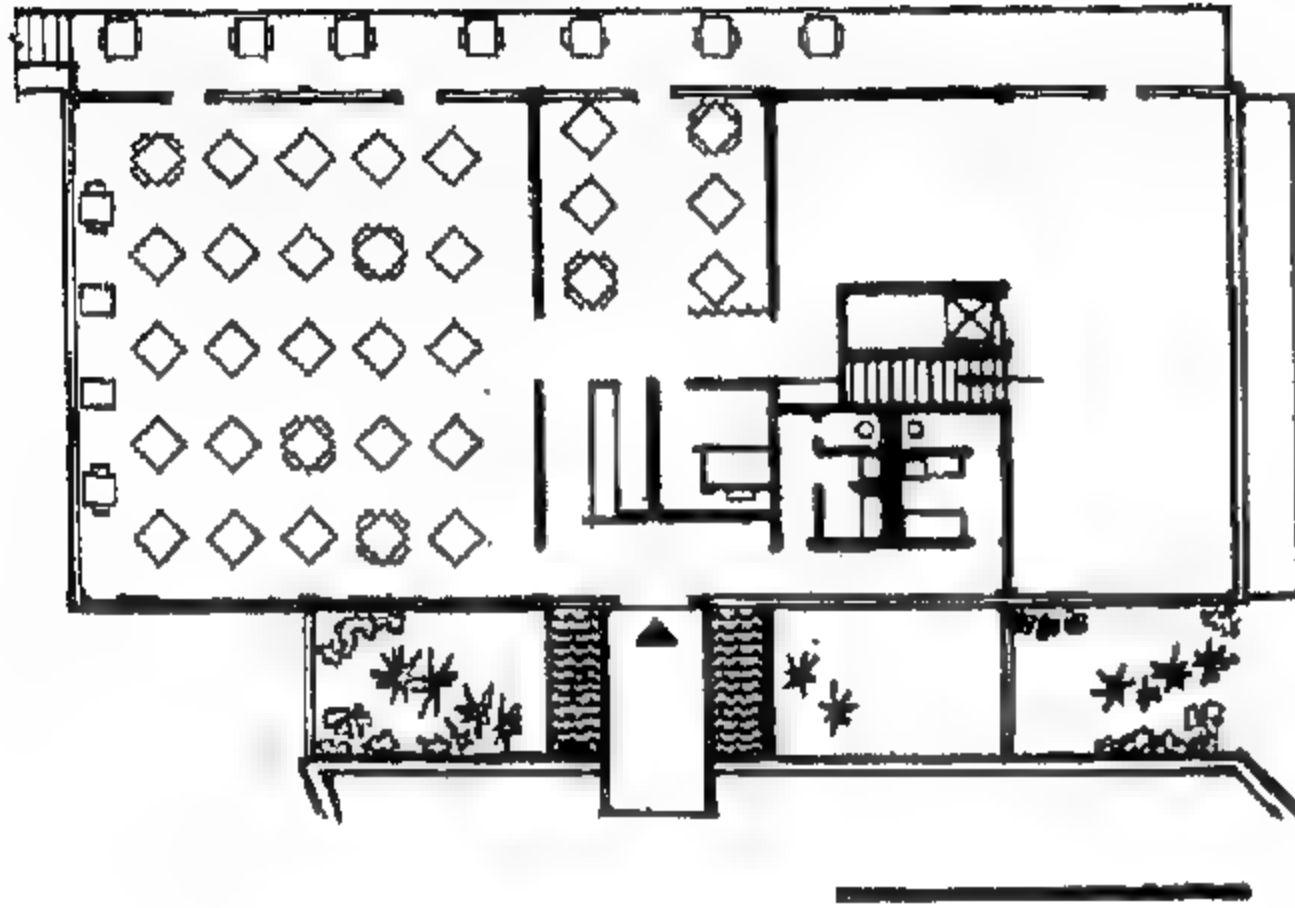


وحدات منطقة أفقية -
(مثلثة القطاع)

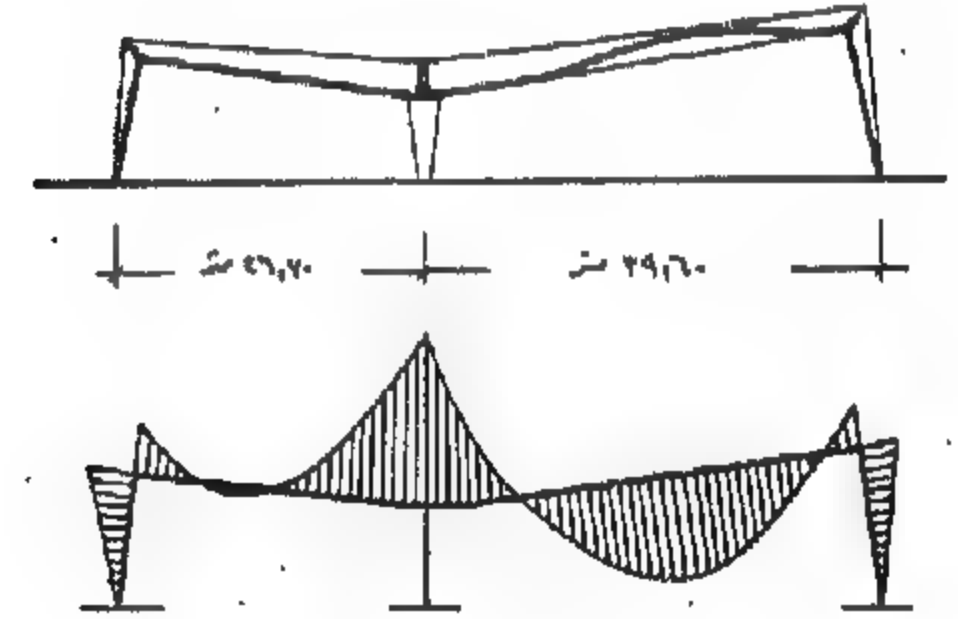
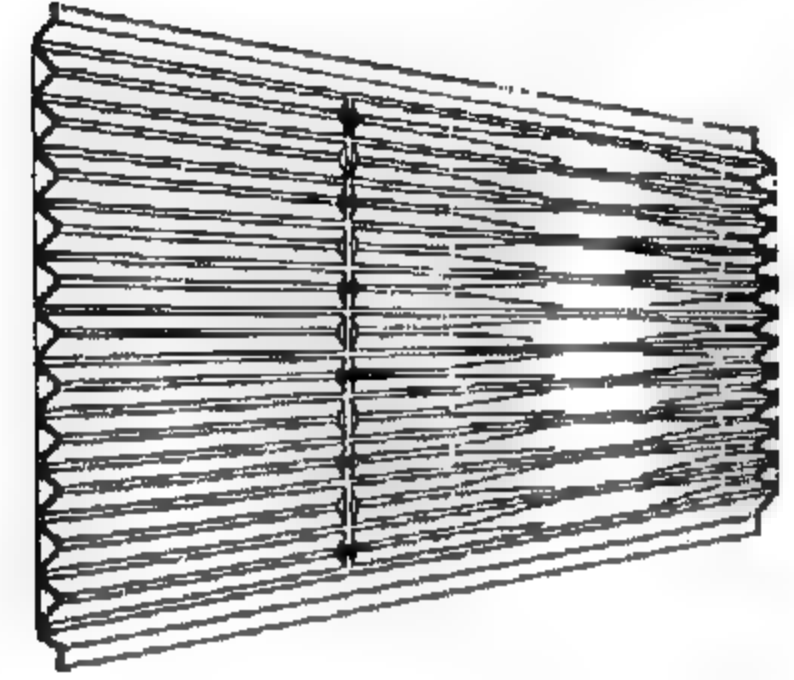
أعمال المماريين ياما ساكي
ولان وبروشر كا هم .
(شكل ٤٢٦) المبنى الرئيسي
للجمعية الأمريكية للخرسانة
بديترويت بولاية ميشيغن .
(شكل ٤٢٧) قطاع عرضي .
(شكل ٤٢٨) مبنى مالك جرميجور
التذكاري - جامعة ولاية وين -
الطريق الوسطى .



شكل ٤٢٩

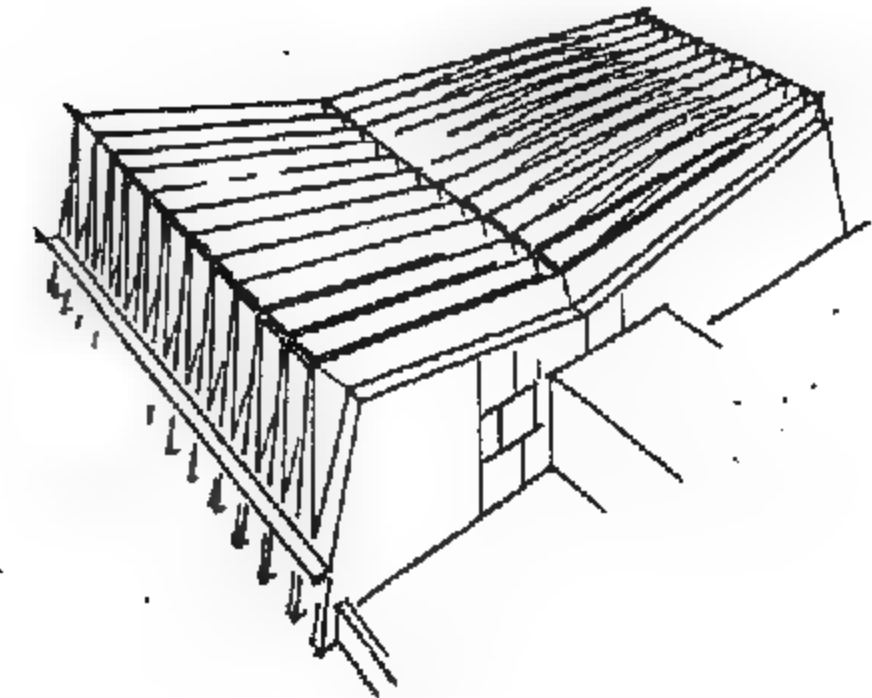


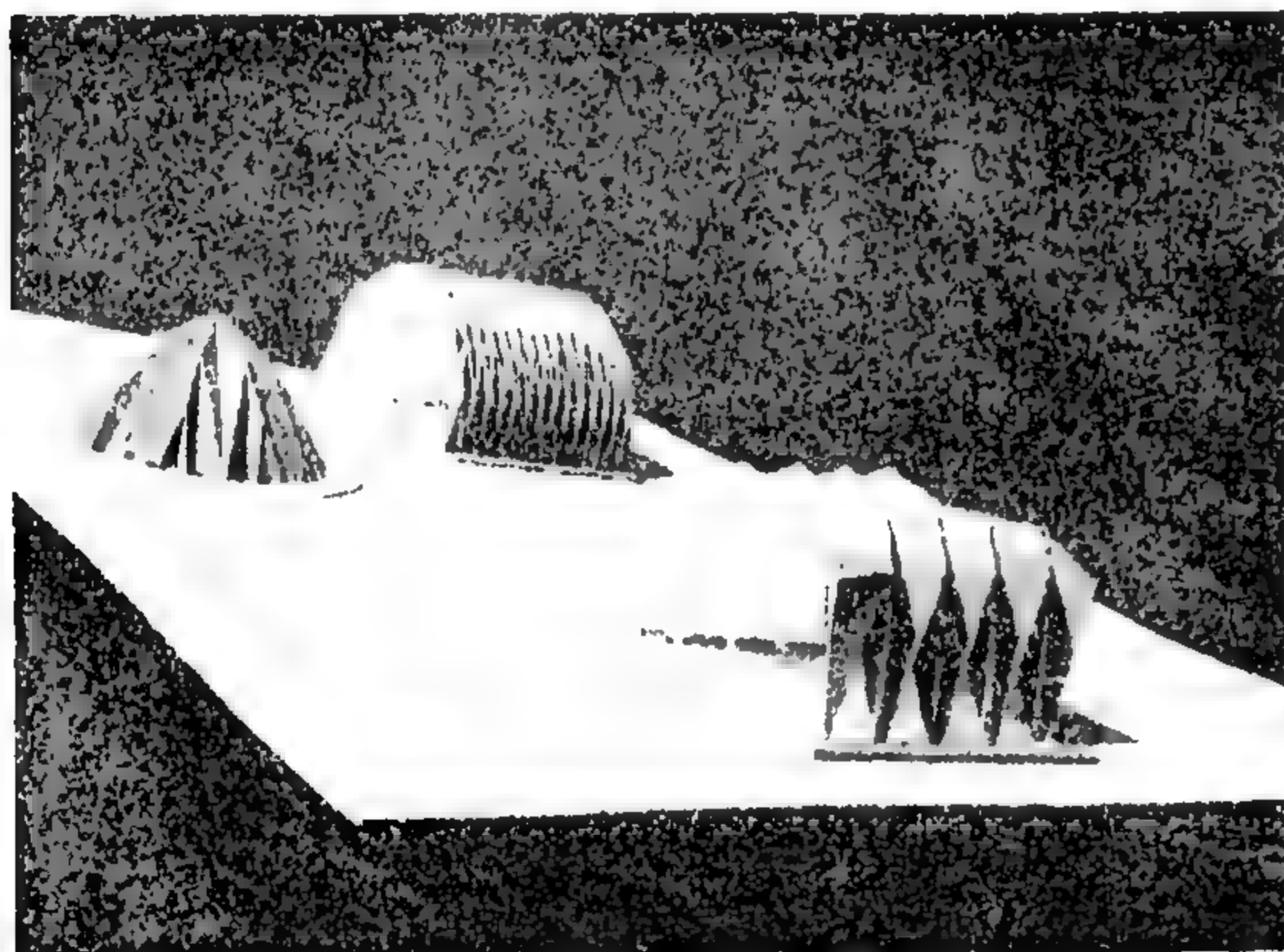
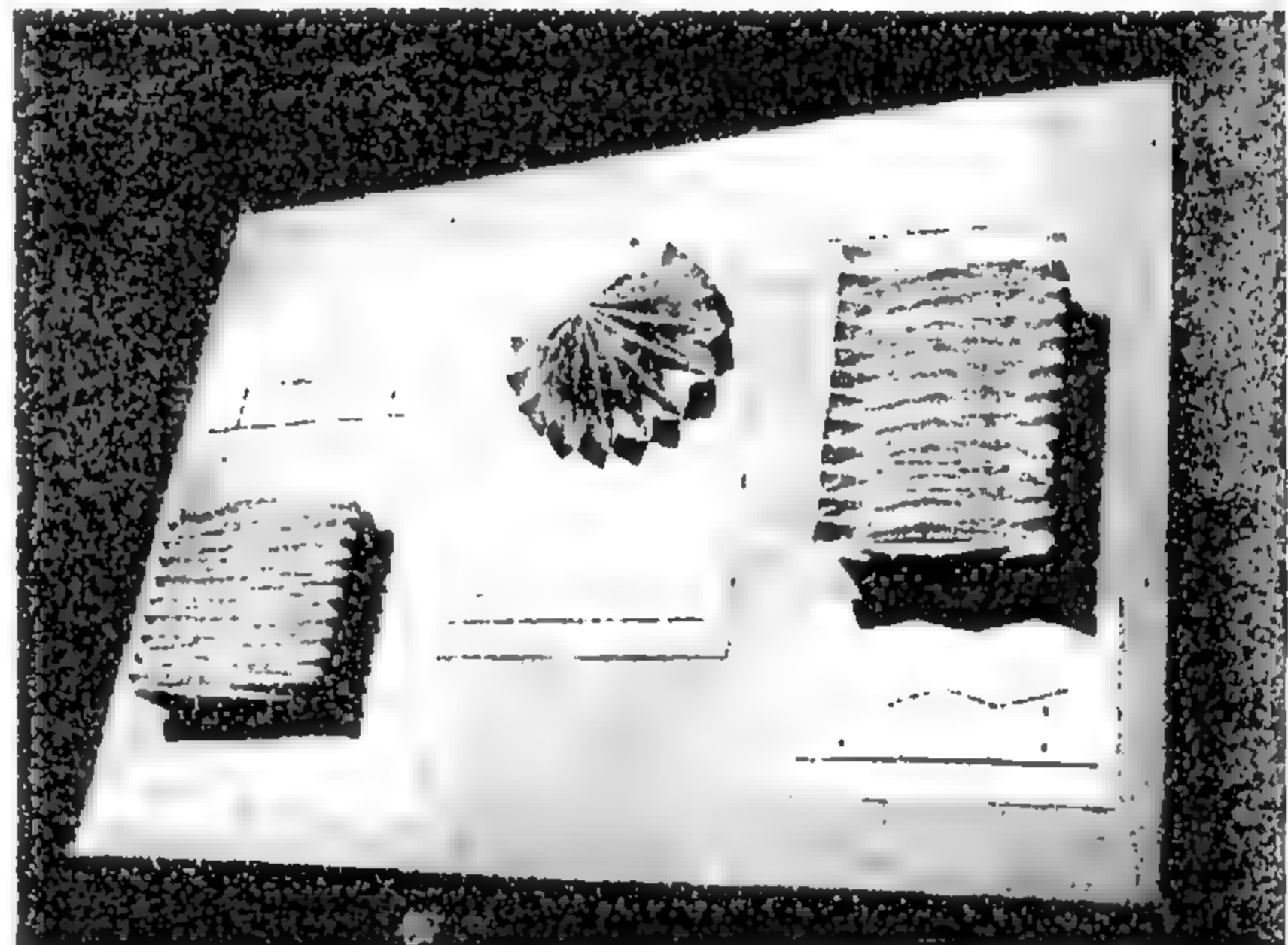
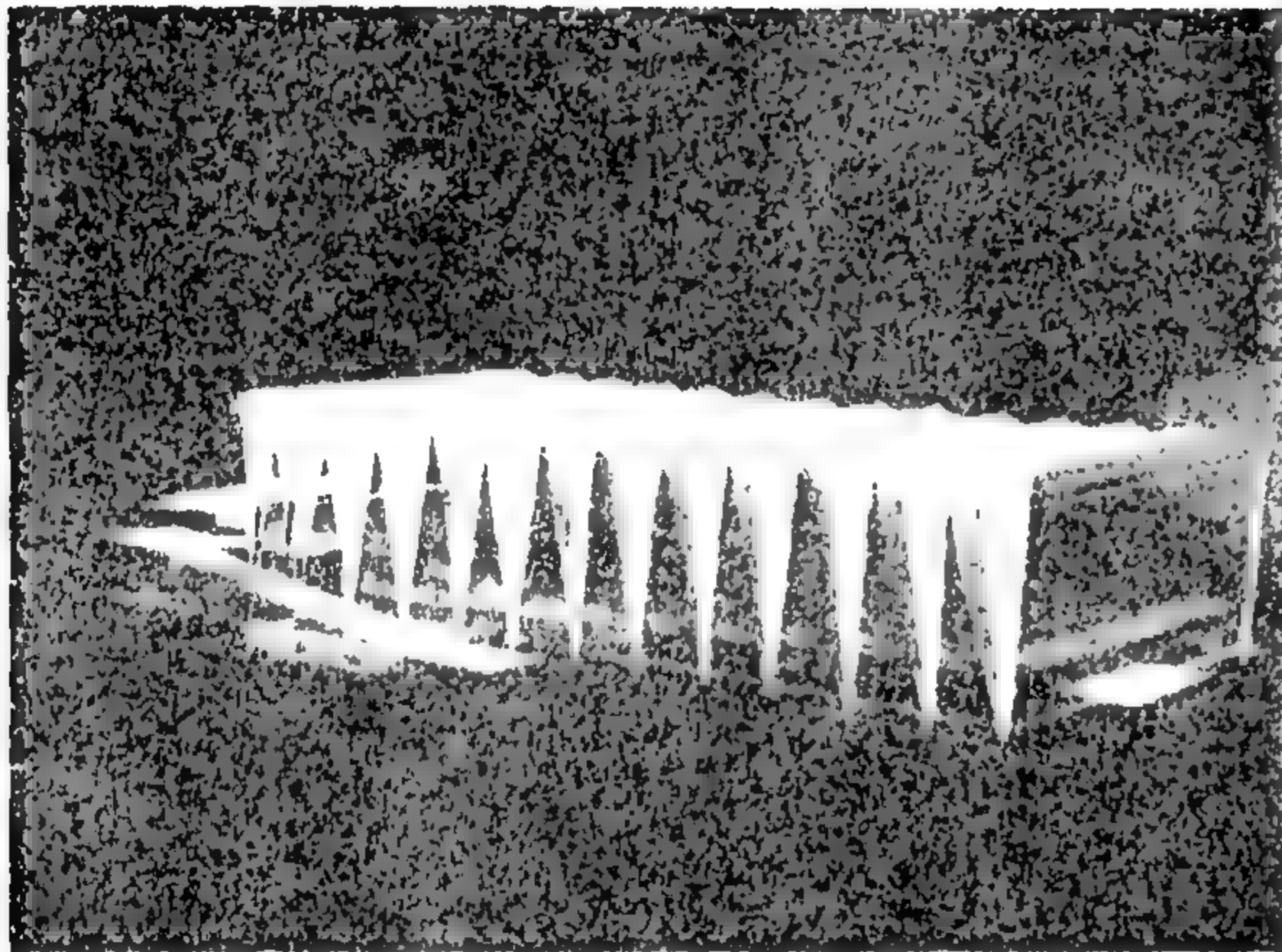
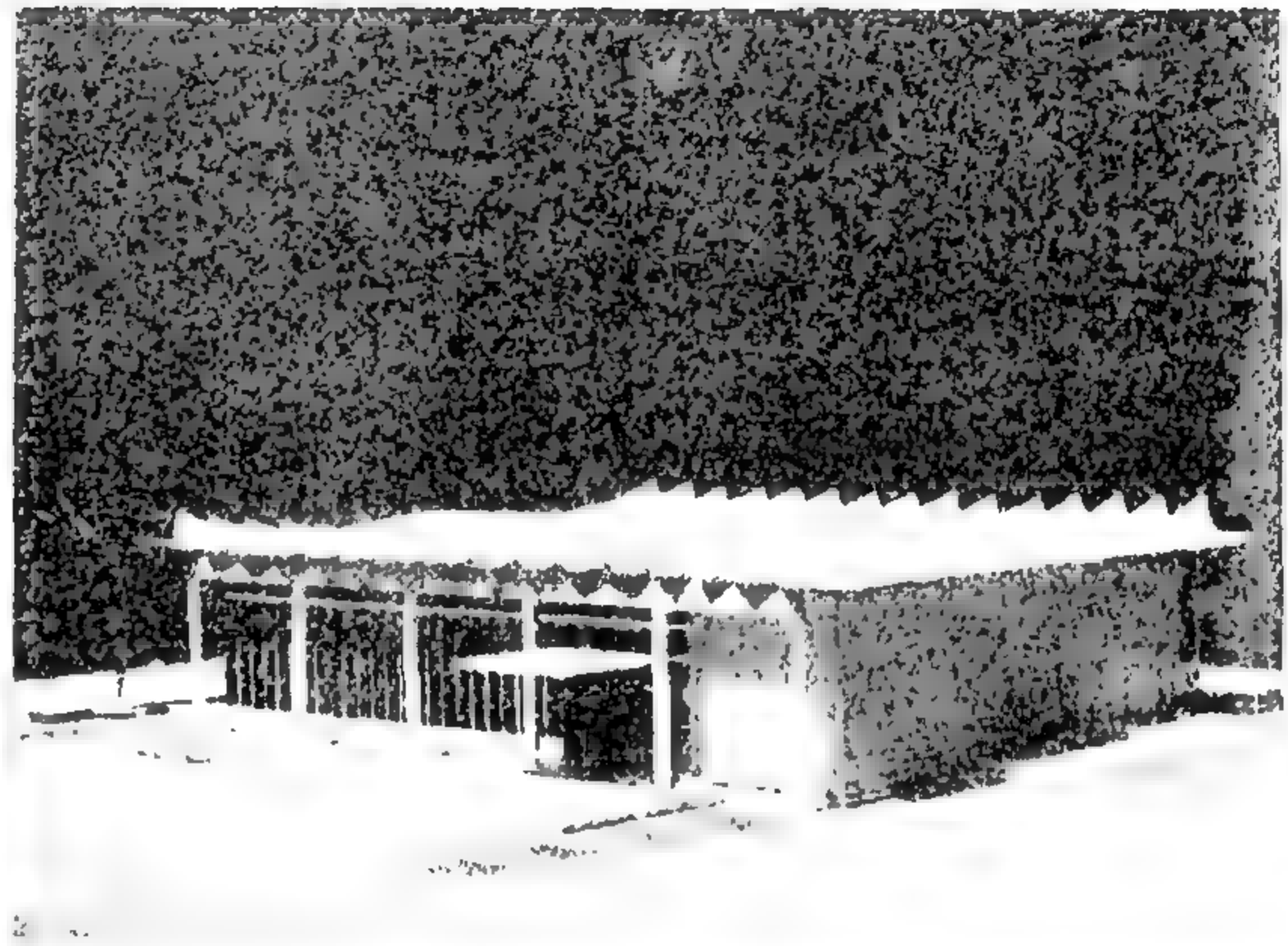
شكل ٤٣٠



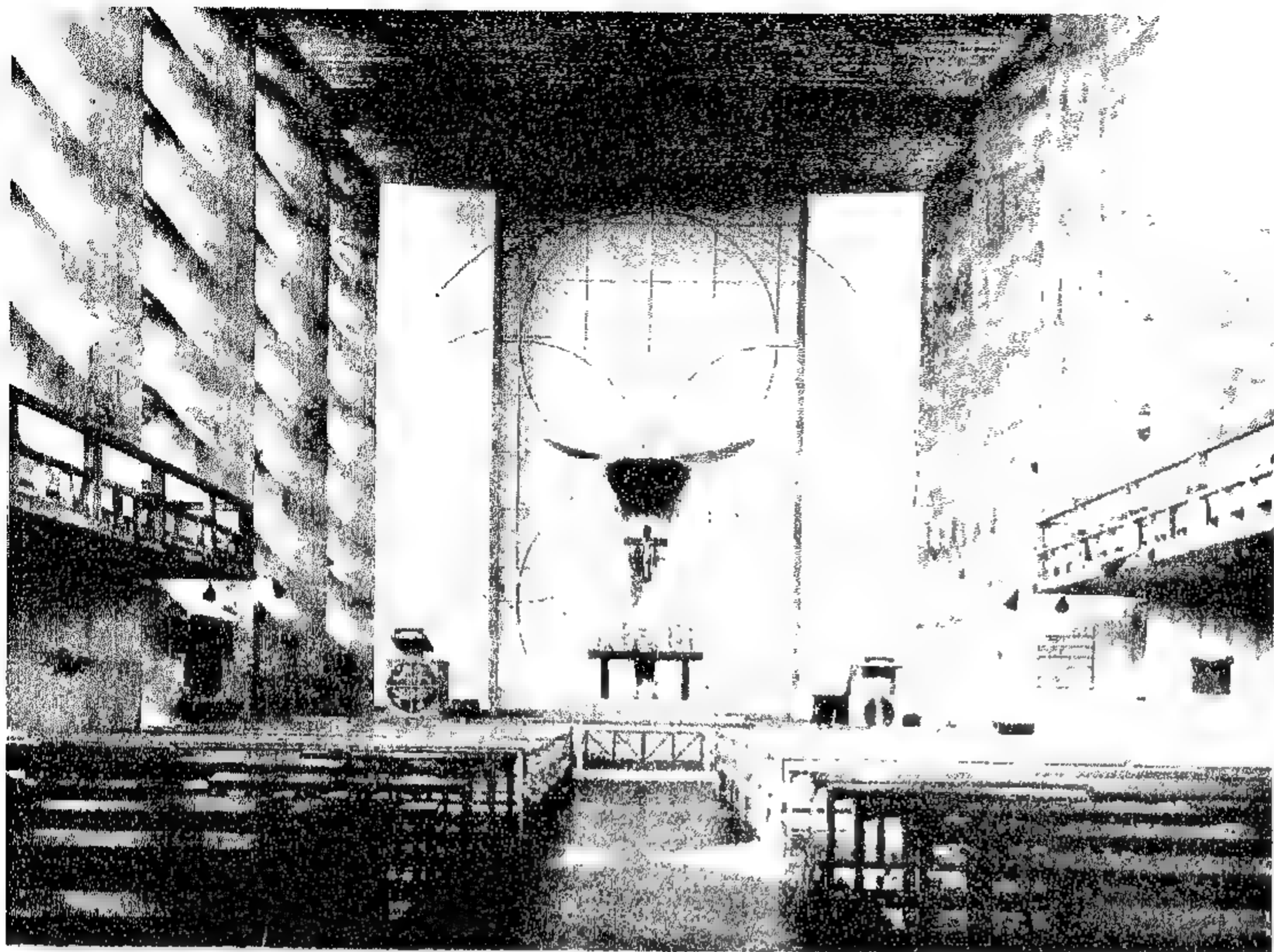
حدات منطقة أفقية (مثلثة القطاع)

كل (٤٢٩) مطعم وحمام سباحة بلويزيانا بأمريكا (المعماريين جلافنكلر وبرودويل) - مسقط وقطاع .
شكل (٤٣٠) صالة الاجتماعات بمقر هيئة اليونسكو بباريس (المهندسون مارسيل بروير وزيروفوس ونيرقي).



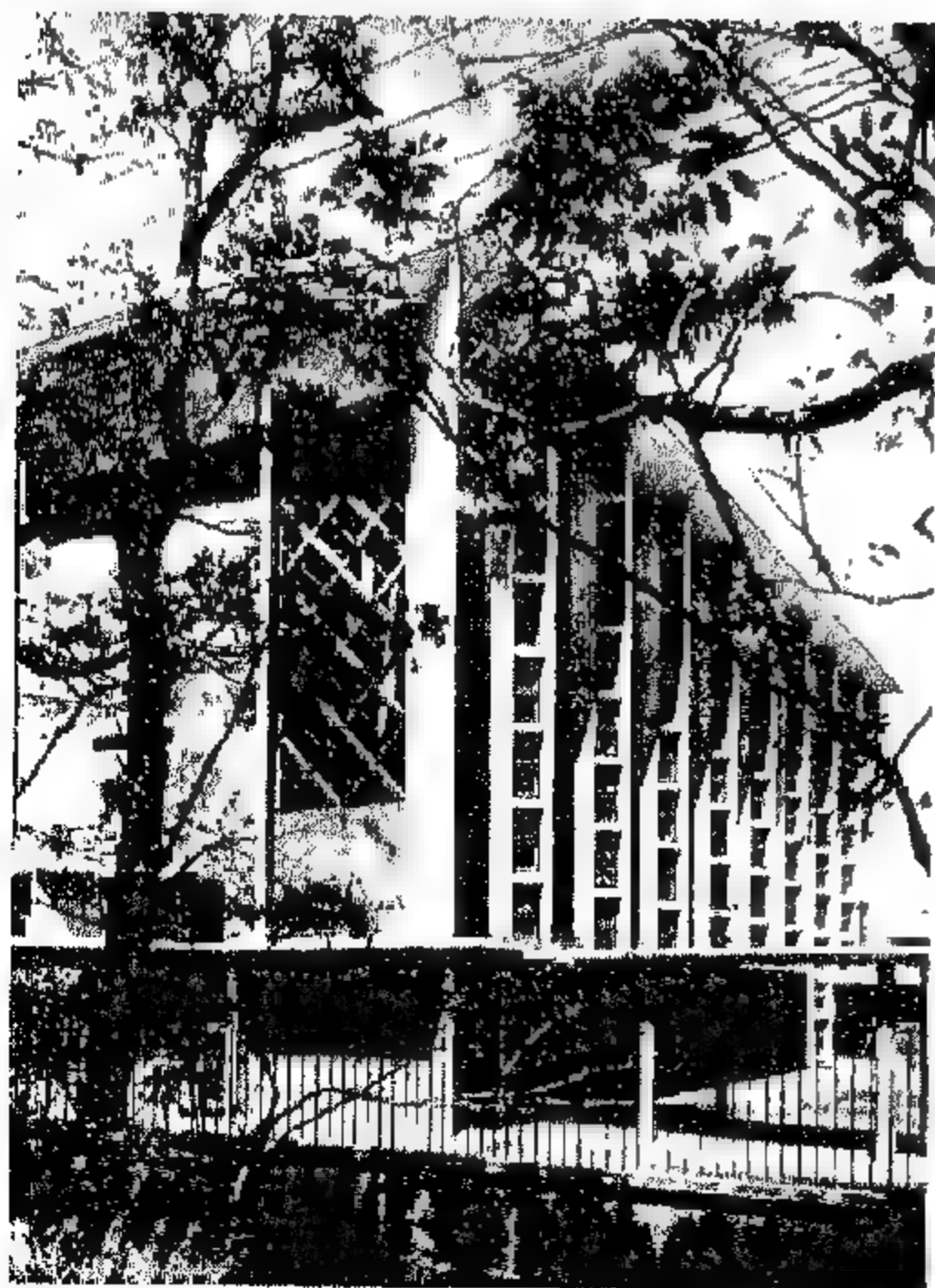
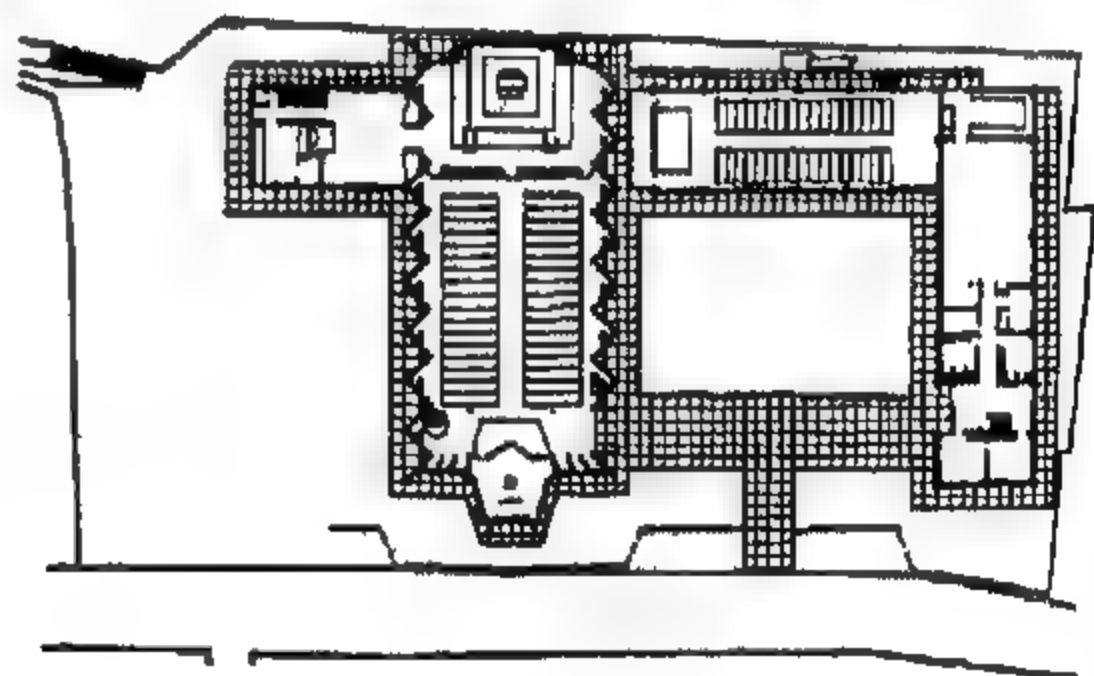


وحدات منطقة مثلثة القطاع
(شكل ٤٣١) تطبيقات على الأسقف المنطبعة
مثلثة القطاع .



٤٣٢.

شكل ٤٣٤

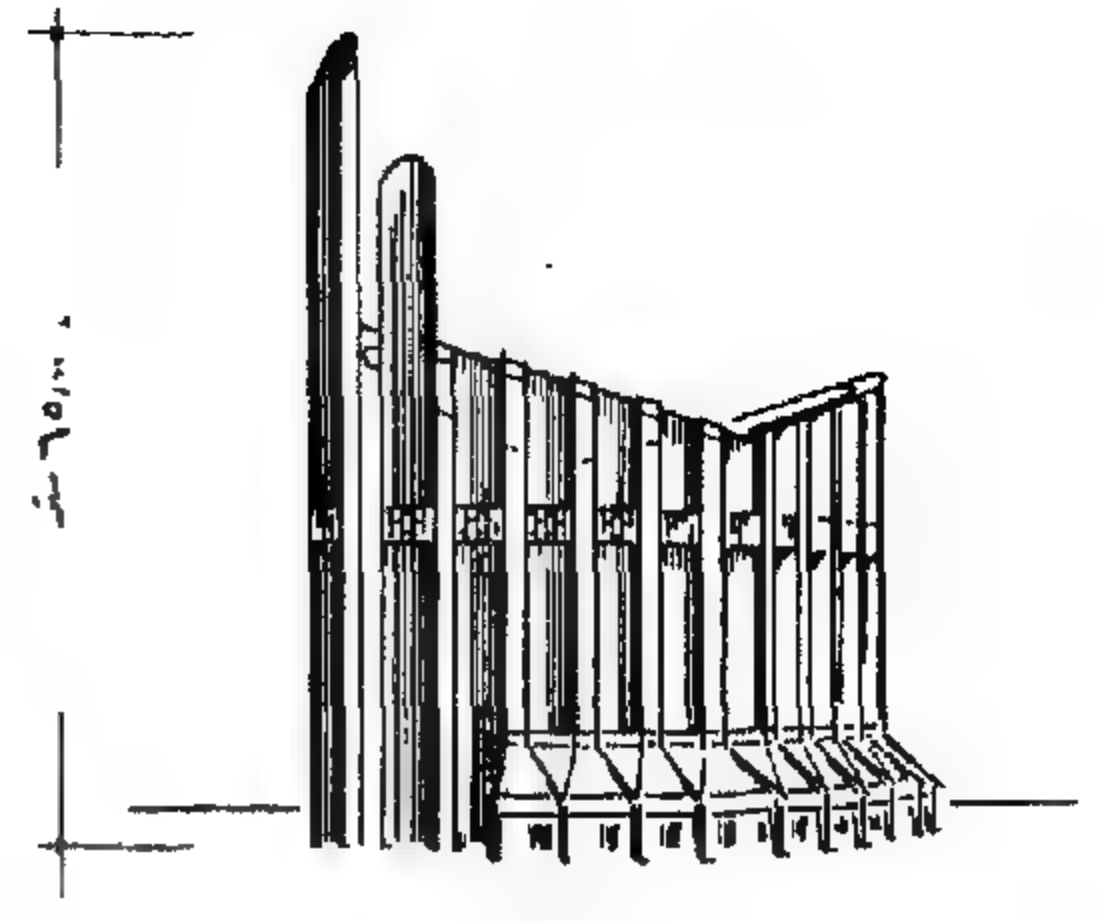
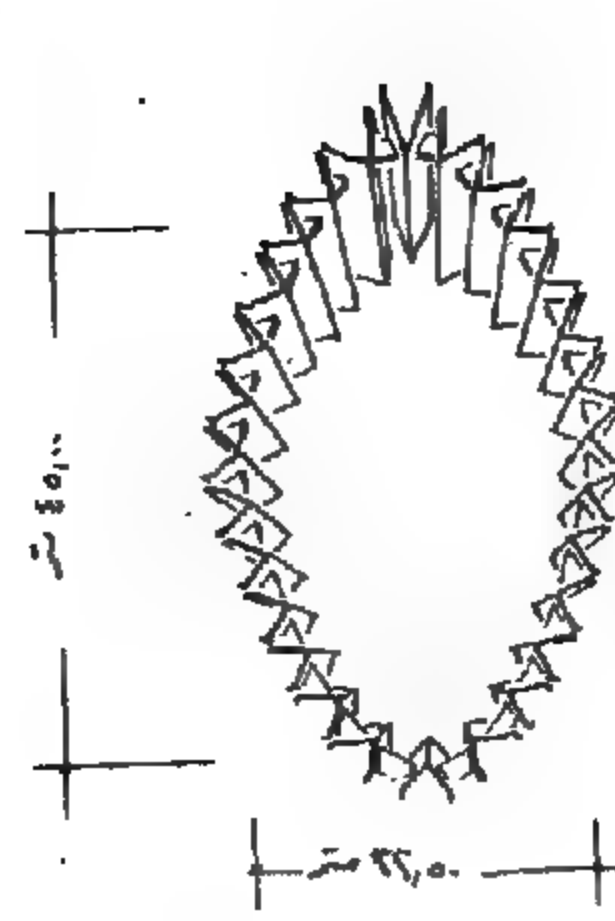
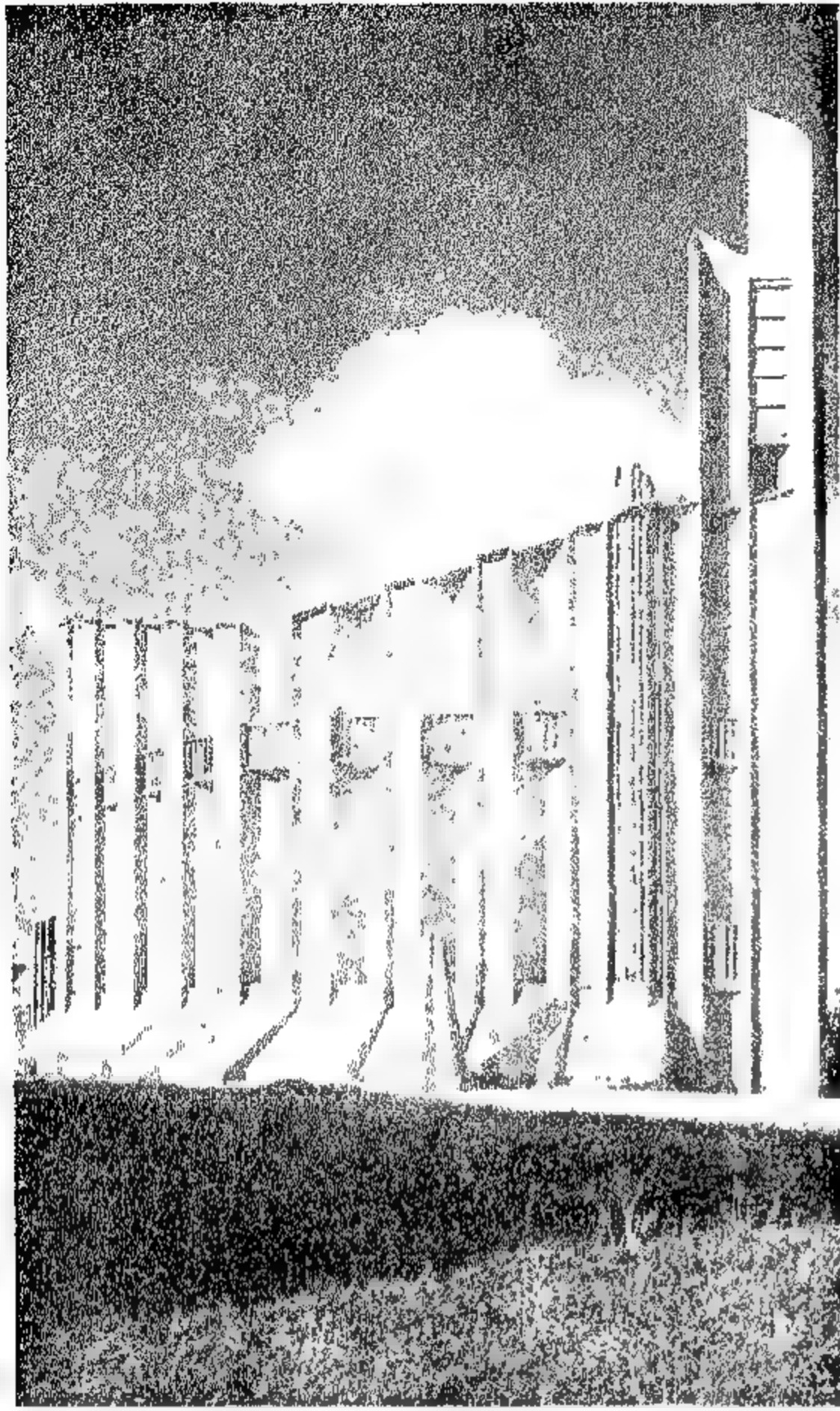


شكل ٤٣٣

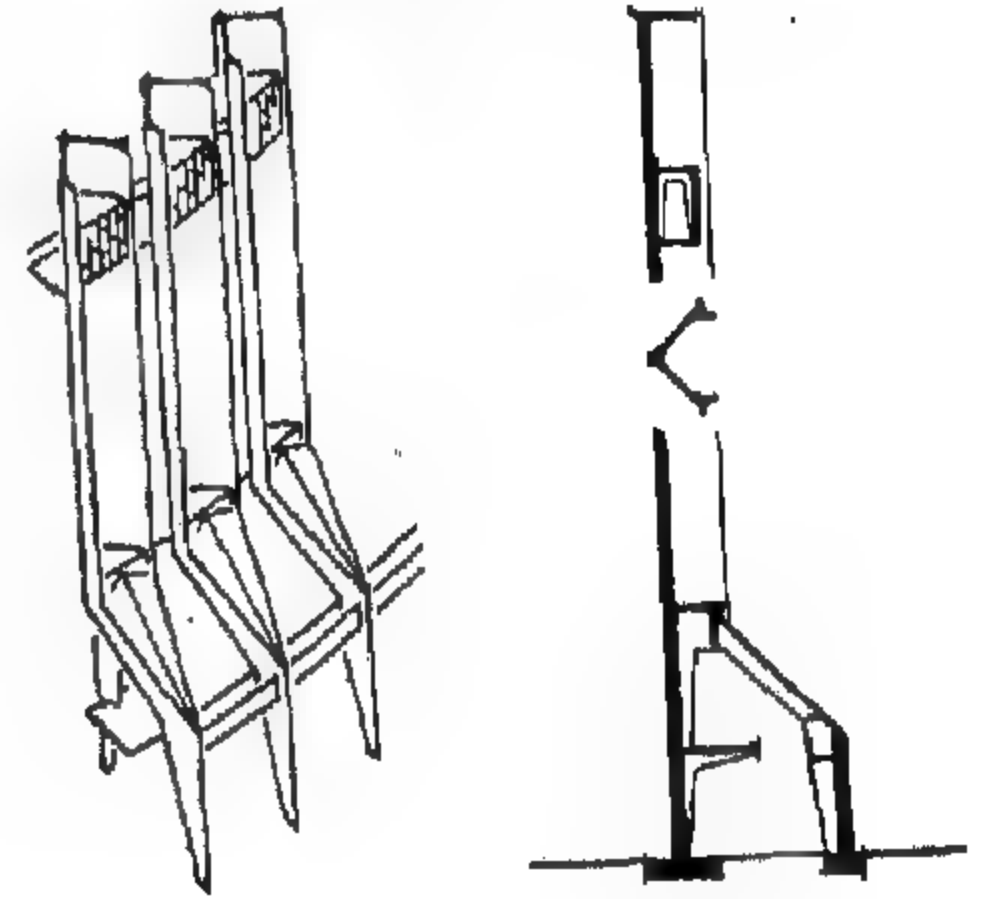
وحدات منطقة أفقية ورأسية (مثلثة
القطاع)

(شكل ٤٣٢) حوائط وأسقف مثلثة القطاع
في دير سانت أنسيلم للاخوان البندكتيين في
طوكيو (المعماريين ريموند و رادو) -
منظور داخلي .

(شكل ٤٣٣) منظور خارجي للكنيسة .
(شكل ٤٣٤) مسقط أفقي .



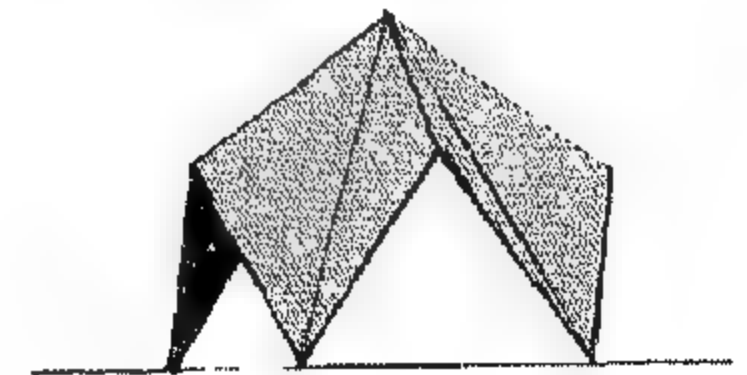
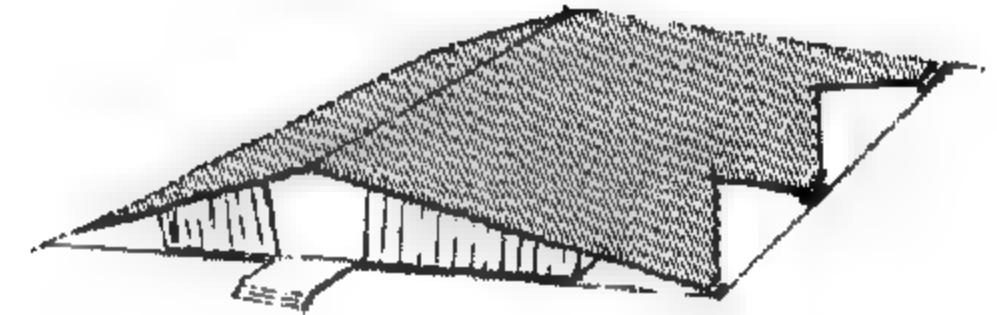
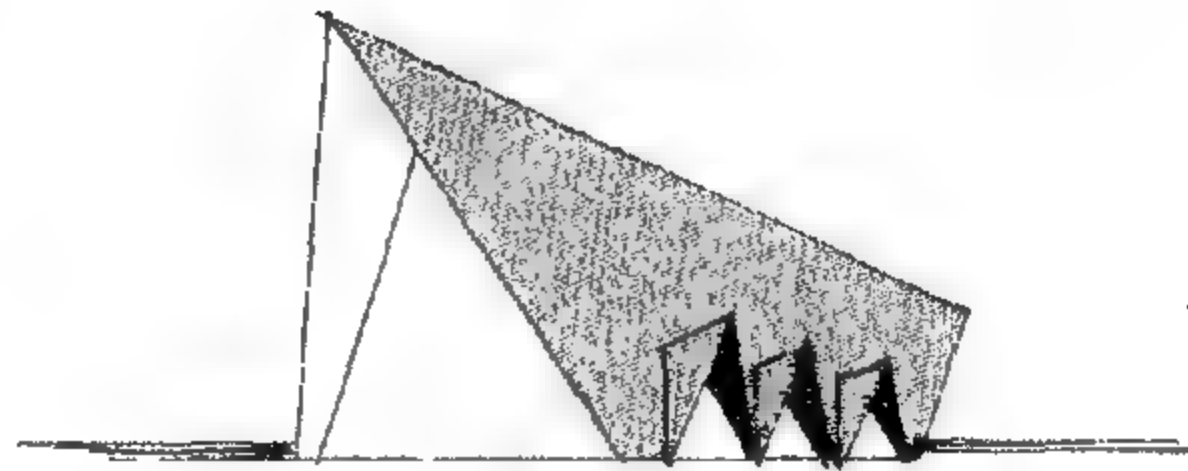
شكل ٤٣٥

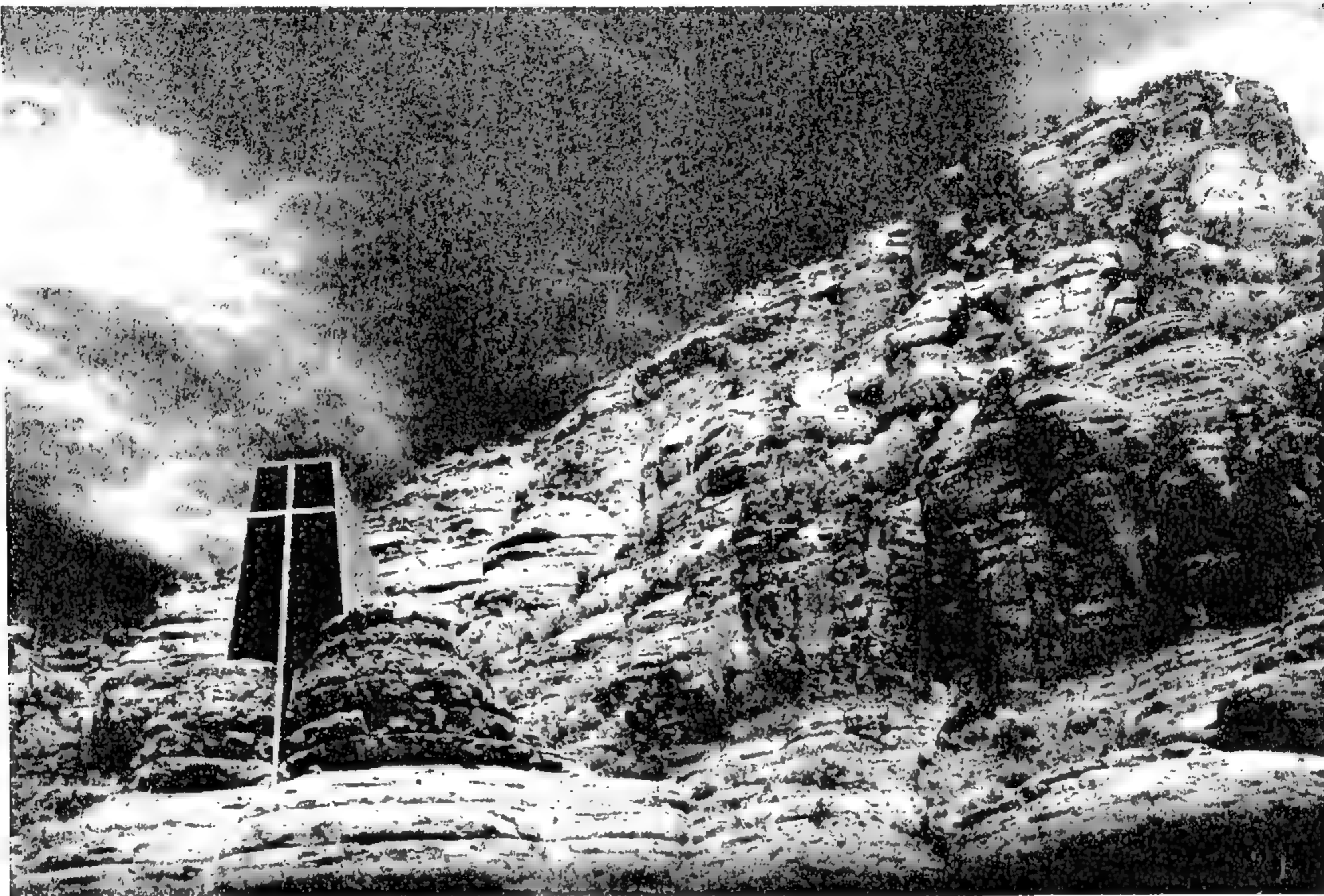


بلاطات فعالة كأسقف وحوائط مائلة

(شكل ٤٣٥) كنيسة نوتردام دي ريوان
من حوائط مثلثة القطاع وسقف زائدي
مكافئ* (المعماري جويلوم والإنشائي
لافاي ١٩٥٤ - ٥٨) .

(شكل ٤٣٦) بلاطات مستوية في أسقف
مائلة على مساقط مستطيلة ومربعة

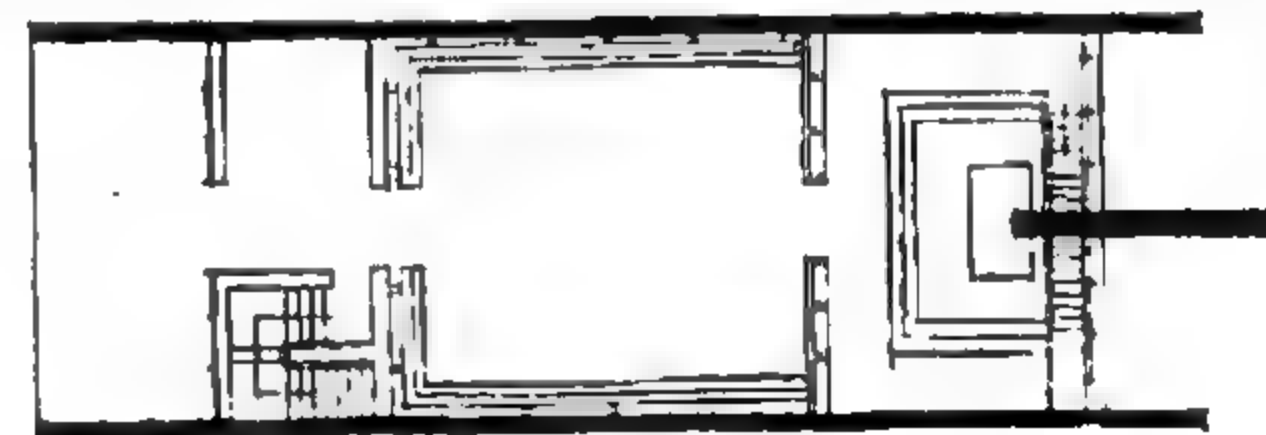




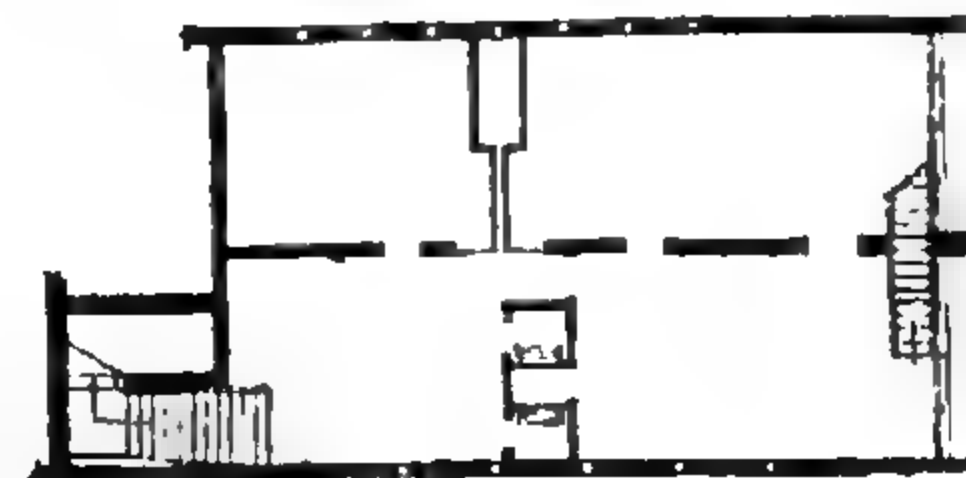
شكل ٤٣٧

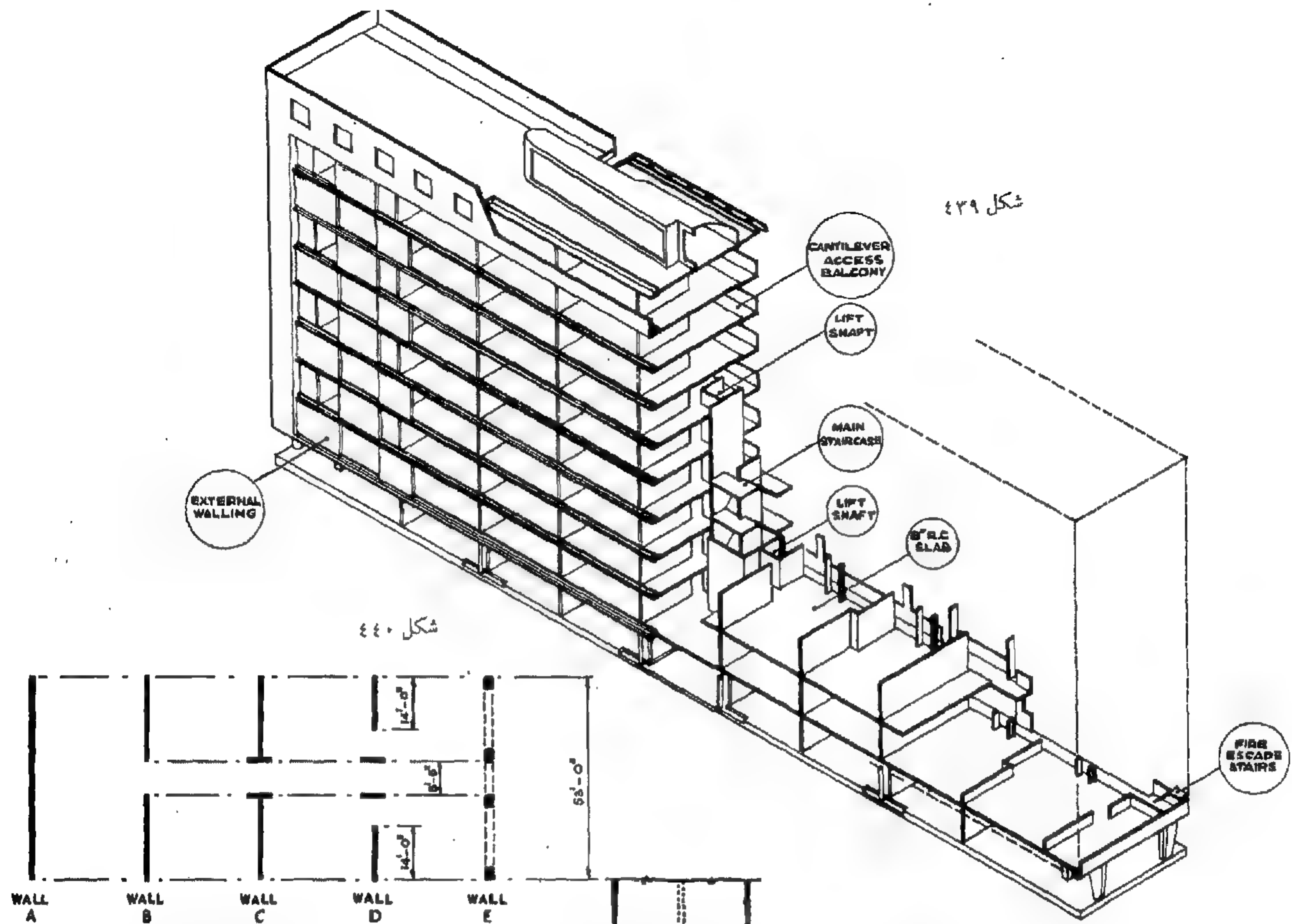
بلاطات فعالة كأسقف وحوائط حاملة

(شكل ٤٣٧) كنيسة الصليب المقدس في
سيدونا بأريزونا (المعماريين أنشن وألن
والإنشائي روبرت دوويل
(شكل ٤٣٨) مسقط للدور الأرضي والبدروم .



شكل ٤٣٨





الإنشاء الصندوقي

(شكل ۴۳۹) منظور لعنارة من عشرة أدوار في هول فيلد بلندن (المعماري بيتر دانكان والإنشائي أوف أراب وشركاه).

(شكل ۴۴۰) أنواع الحوائط في الإنشاء بالحوائط العرضية في العنارة السابقة - المعدل الإنشائي ۱۸ قدما وارتفاع الدور ۸ أقدام ، ۹ بوصات .

(شكل ۴۴۱) حوائط خارجية حاملة في عمارات هوت بوينت السكنية في هلي جيت بلندن (المعماريين مكتب تكتون والإنشائي كبير وشركاه) .

TYPICAL FLOOR

21ST FLOOR

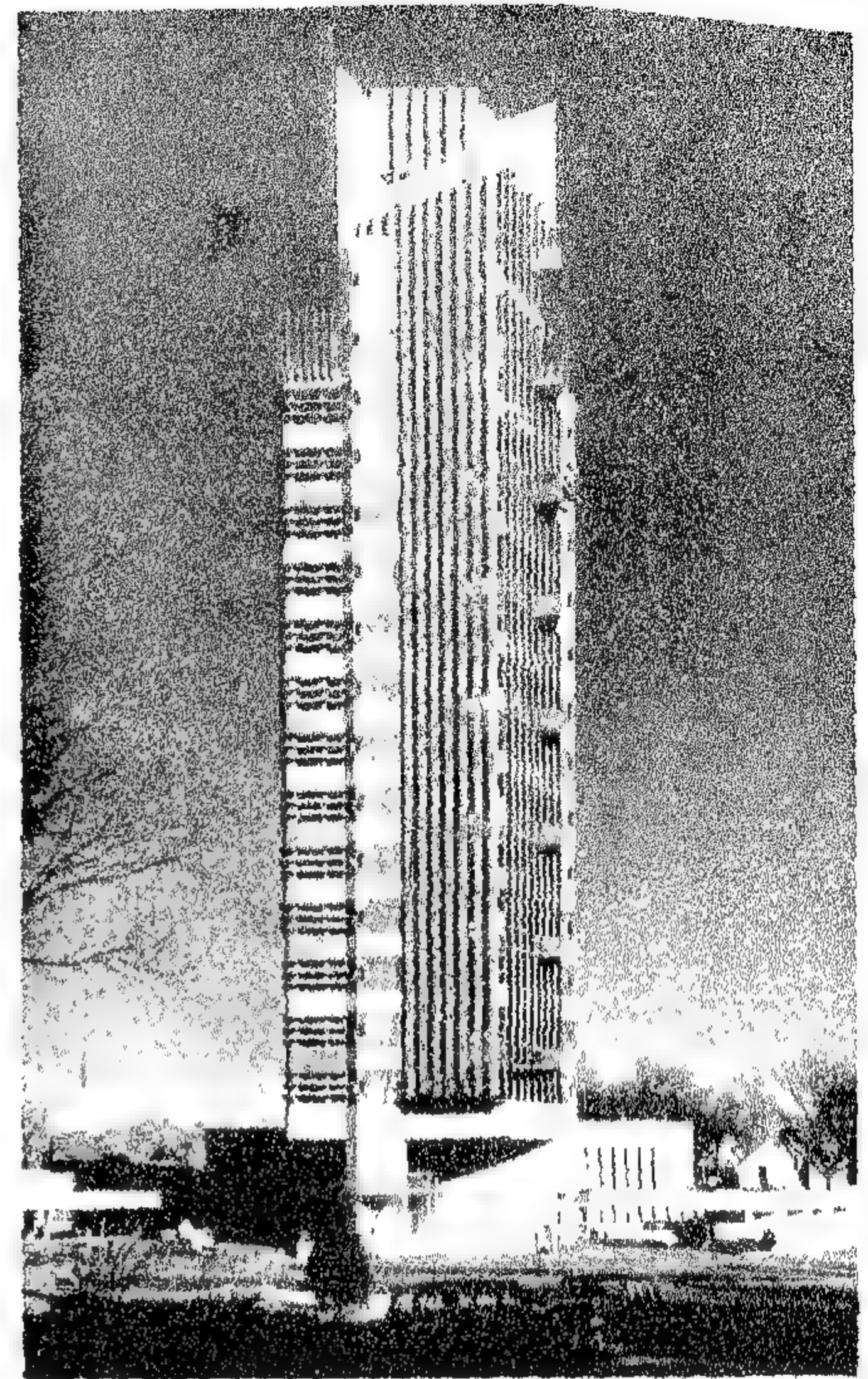
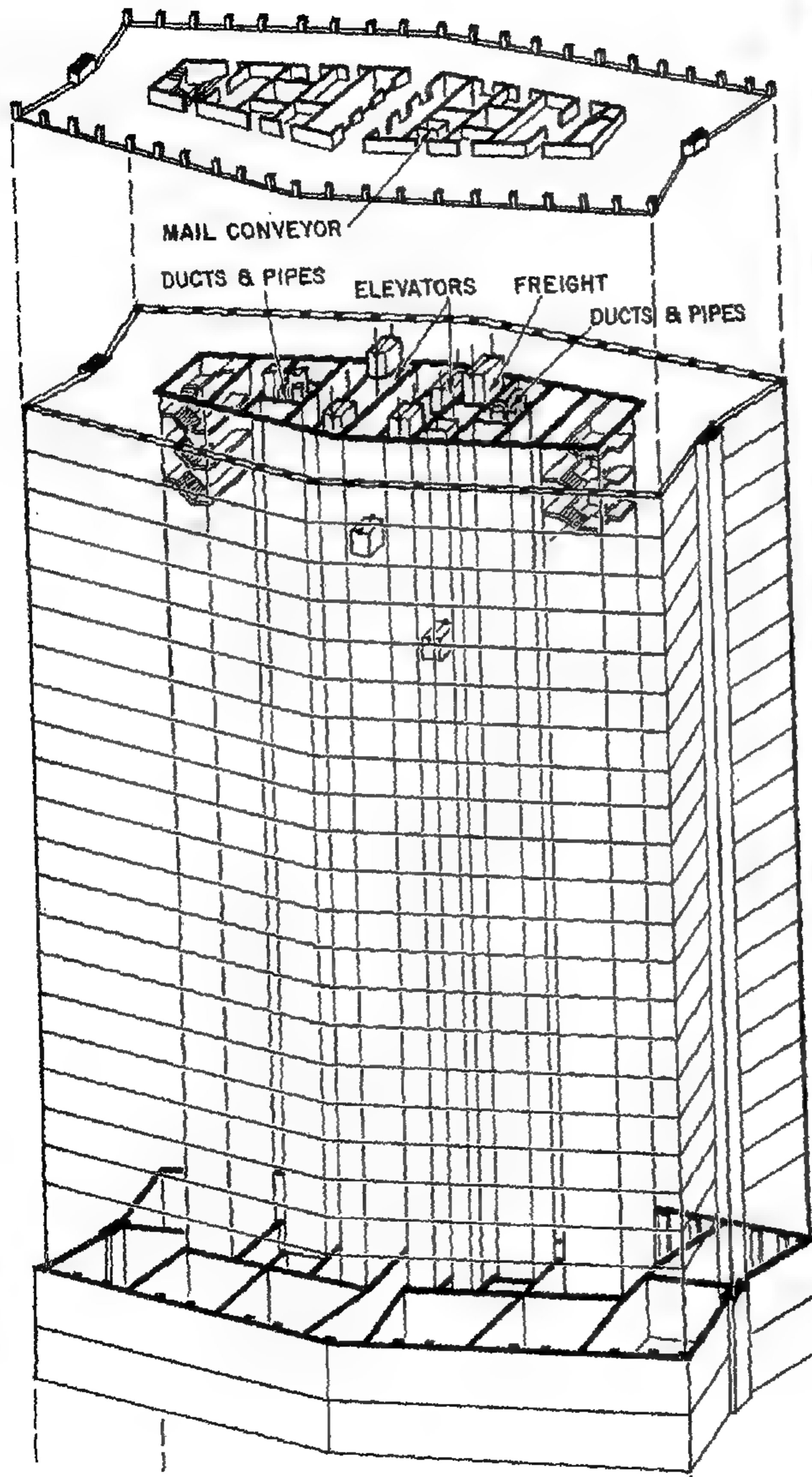
شكل ٤٤٤

1ST FLOOR

GROUND FLOOR

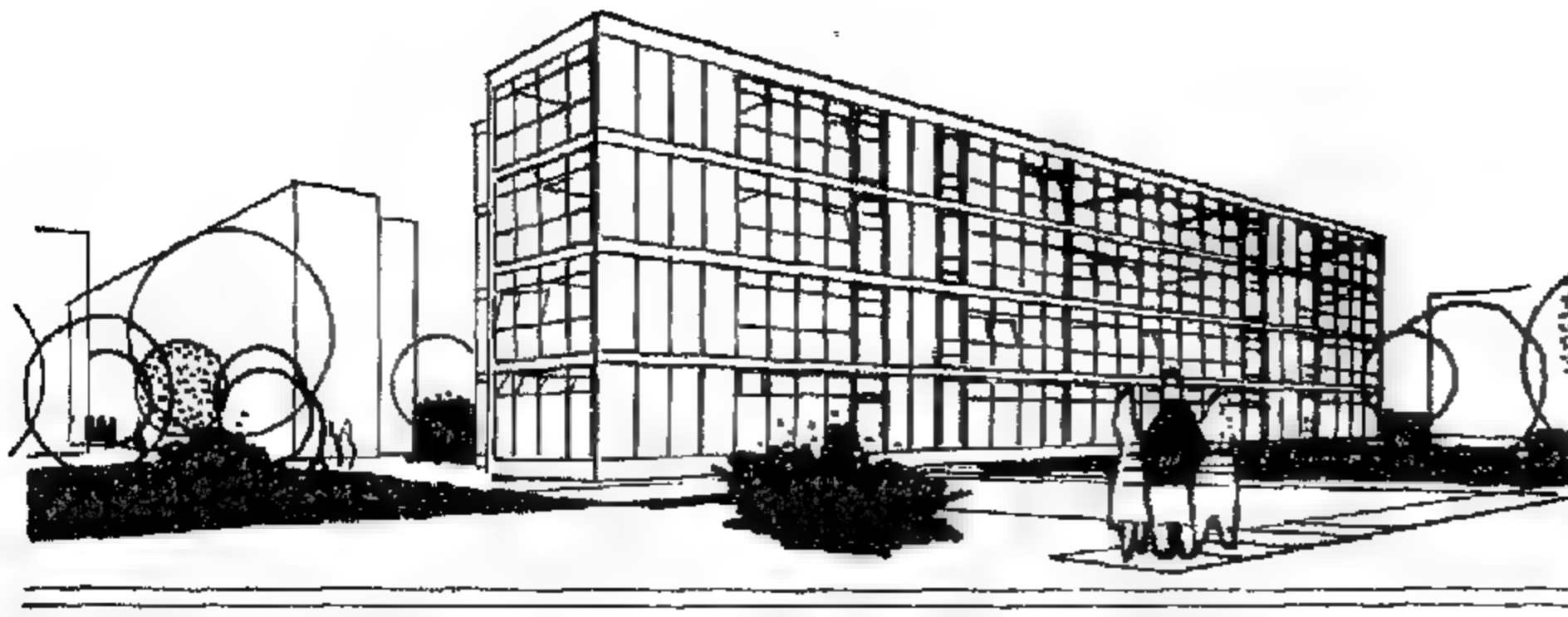
1ST BASEMENT

2ND BASEMENT

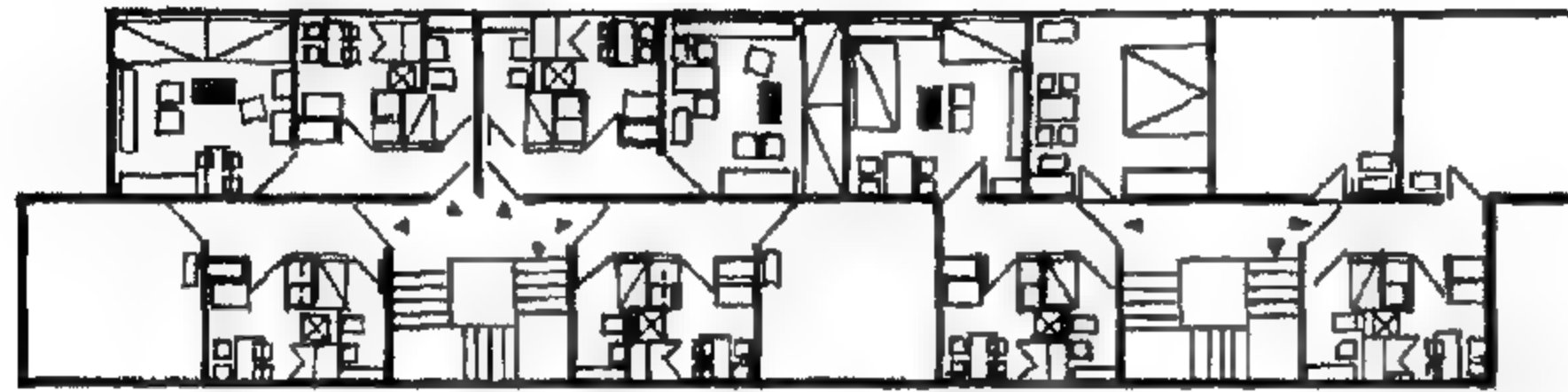


البلاطات الرأسية كقلب حامل
(شكل ٤٤٢) برج برايس ، في بارتل هيل
بأوكلاهوما
(شكل ٤٤٣) مسقط أفق للبرج
(شكل ٤٤٤) مبنى مكاتب شركة برتش
كولومبيا الكهربائية في فانكوفر في كولومبيا
البريطانية بكندا

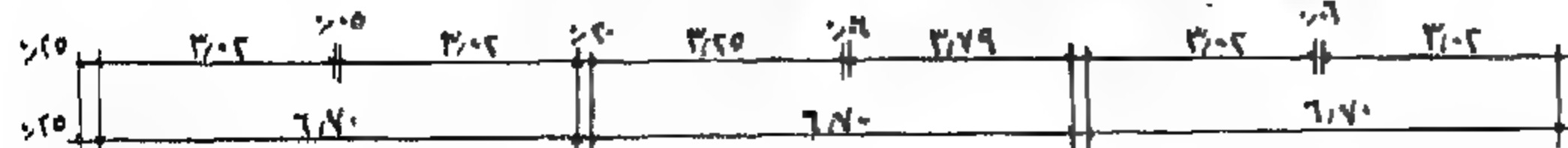
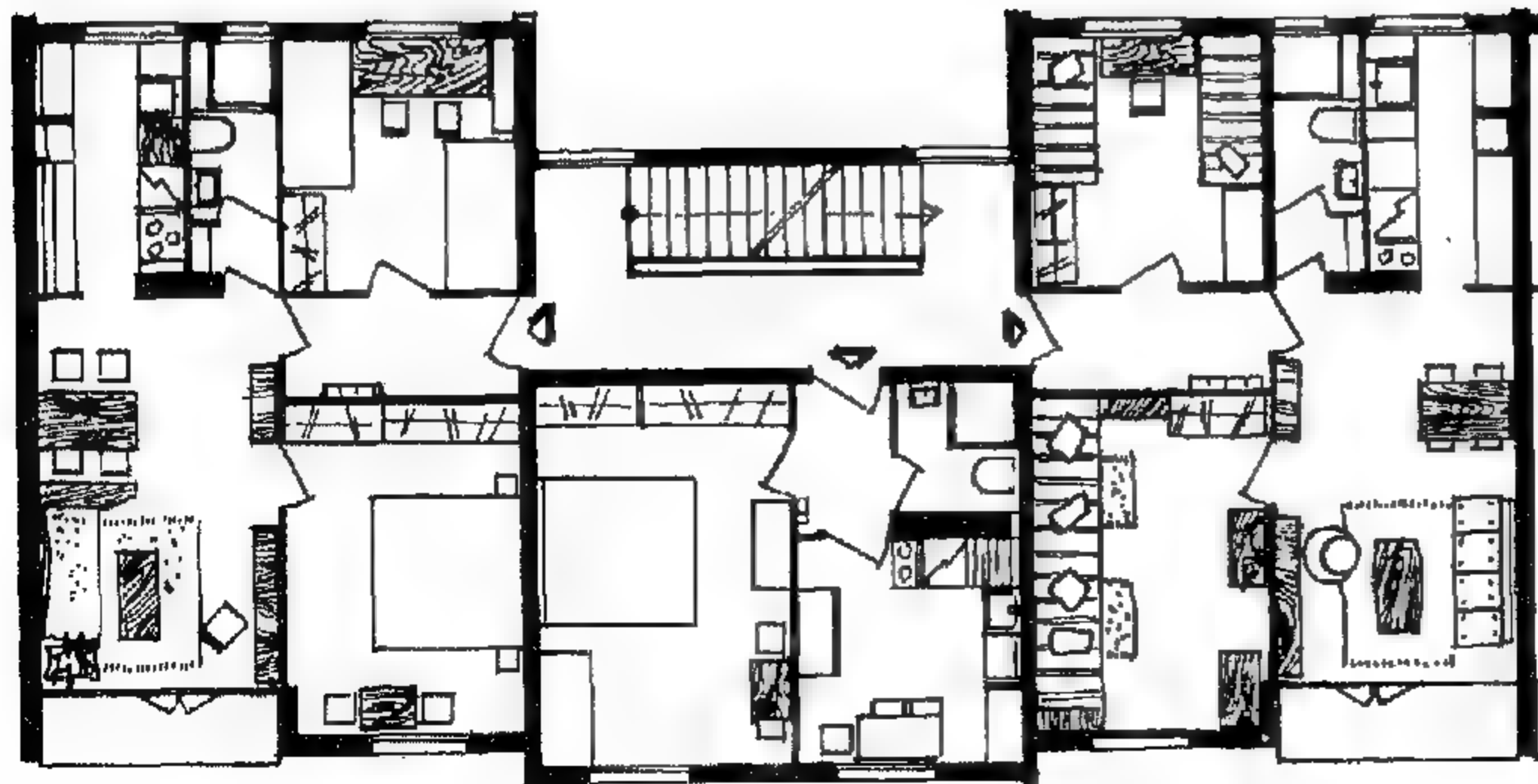
شكل ٤٤٣



شكل ٤٤٥



شكل ٤٤٦

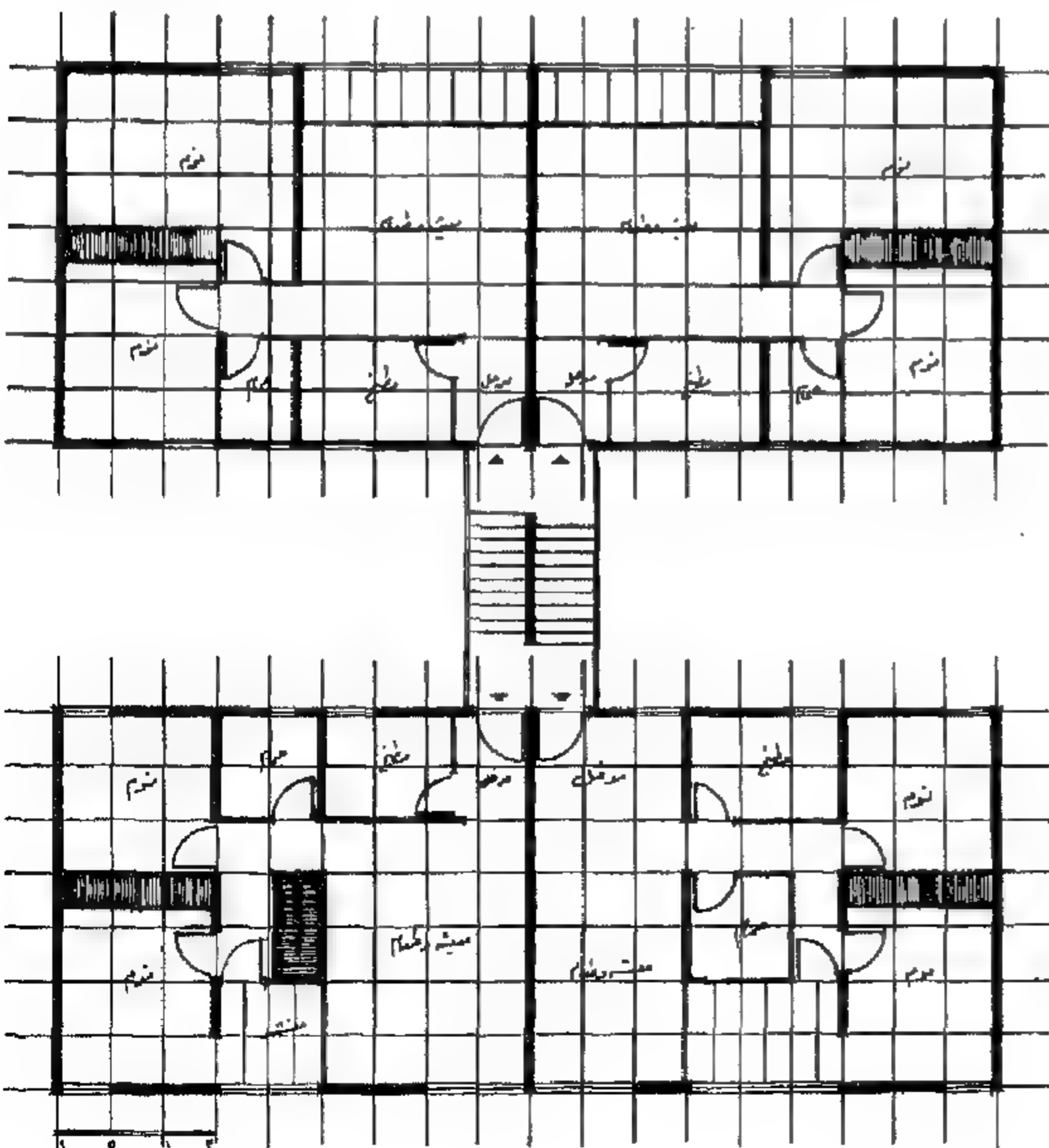
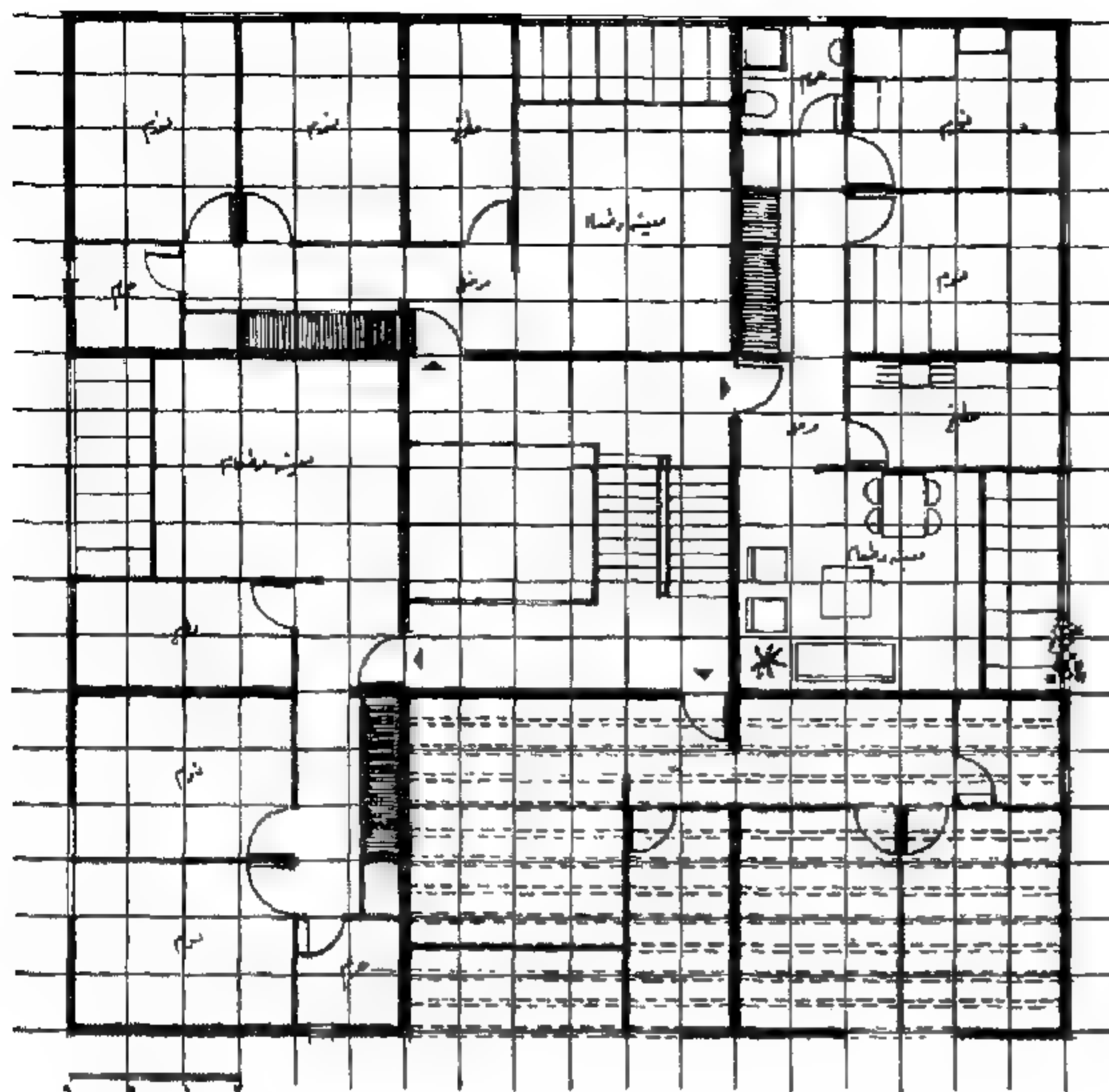


تأثير سبق التجهيز على التصميم المعماري - بانوهات على معدلات جزئية

(شكل ٤٤٥) منظور لمجموعة سكنية ذات بانوهات
حاملة بعرض ١٠م وأسقف ٤٠٠م ×
٤٠٠م (طريقة - Ju-60 - يوغوسلافيا)
(شكل ٤٤٦) مسقط للمجموعة السكنية
السابقة .

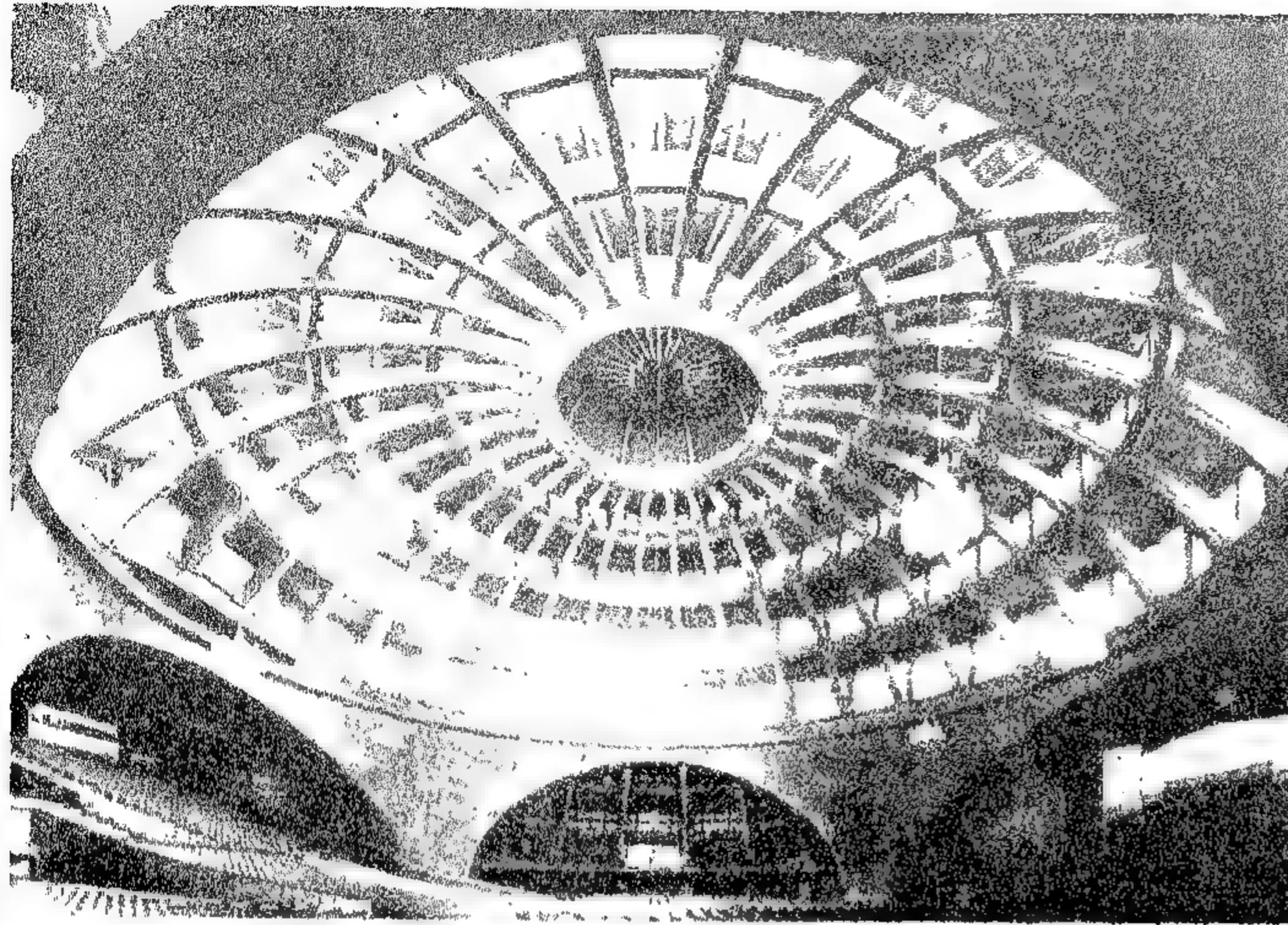
(شكل ٤٤٧) مسقط لمجموعة بنفس البانوهات
السابقة للمحاطط وبانوهات للأسقف ببحر
١٠م ٦م .

شكل ٤٤٧

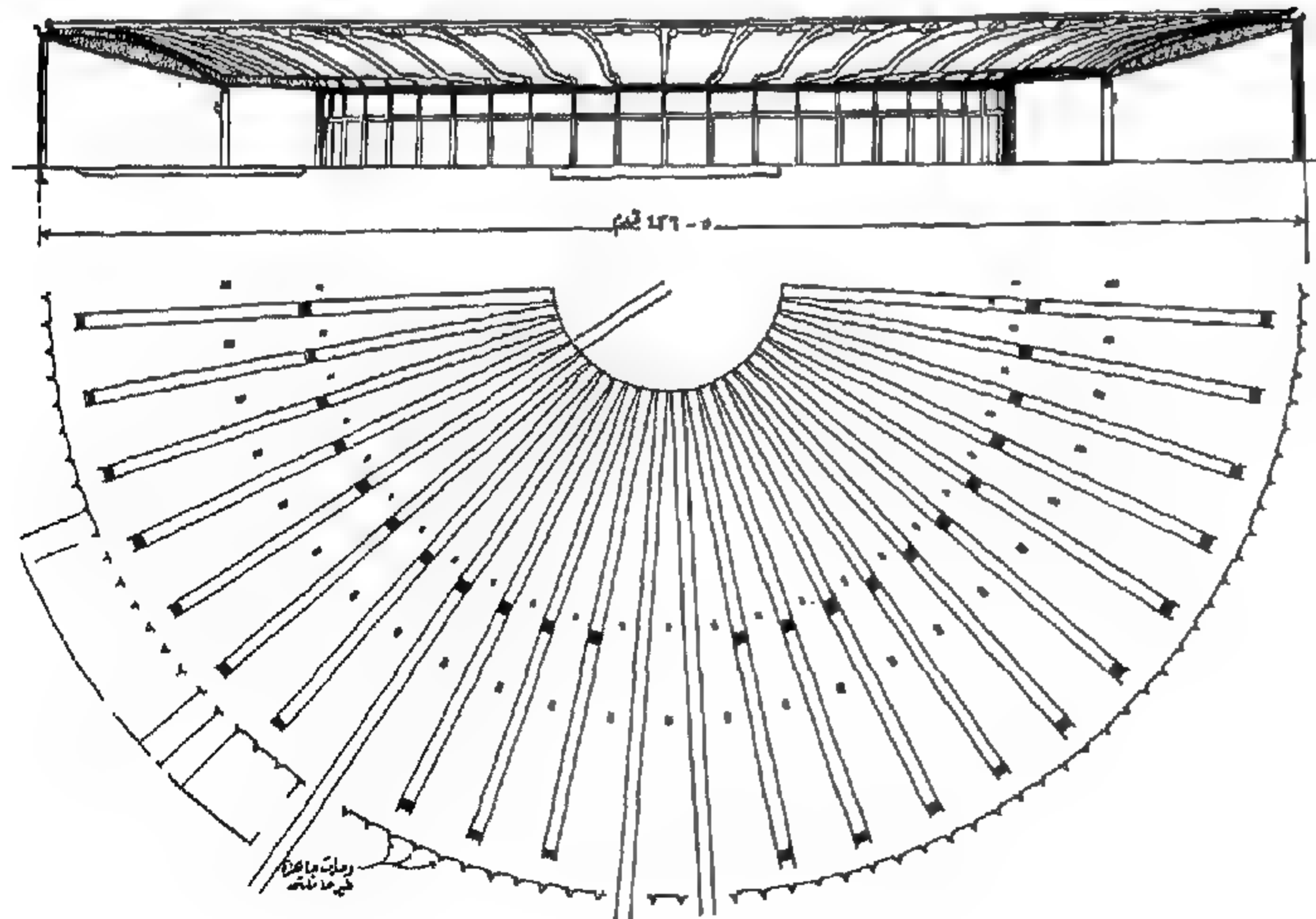


الإمكانات المعمارية لسبق التجهيز الحزني

(شكل ٤٤٨ ، ٤٤٩) اقتراحات لمجموعات سكنية بالجمهورية العربية المتحدة بحوائط حاملة من الطوب الخرساني وأسقف من كمرات نصف جاهزة وبلاطات جاهزة (يبحث الوحدات الجاهزة - معهد بحوث البناء) .



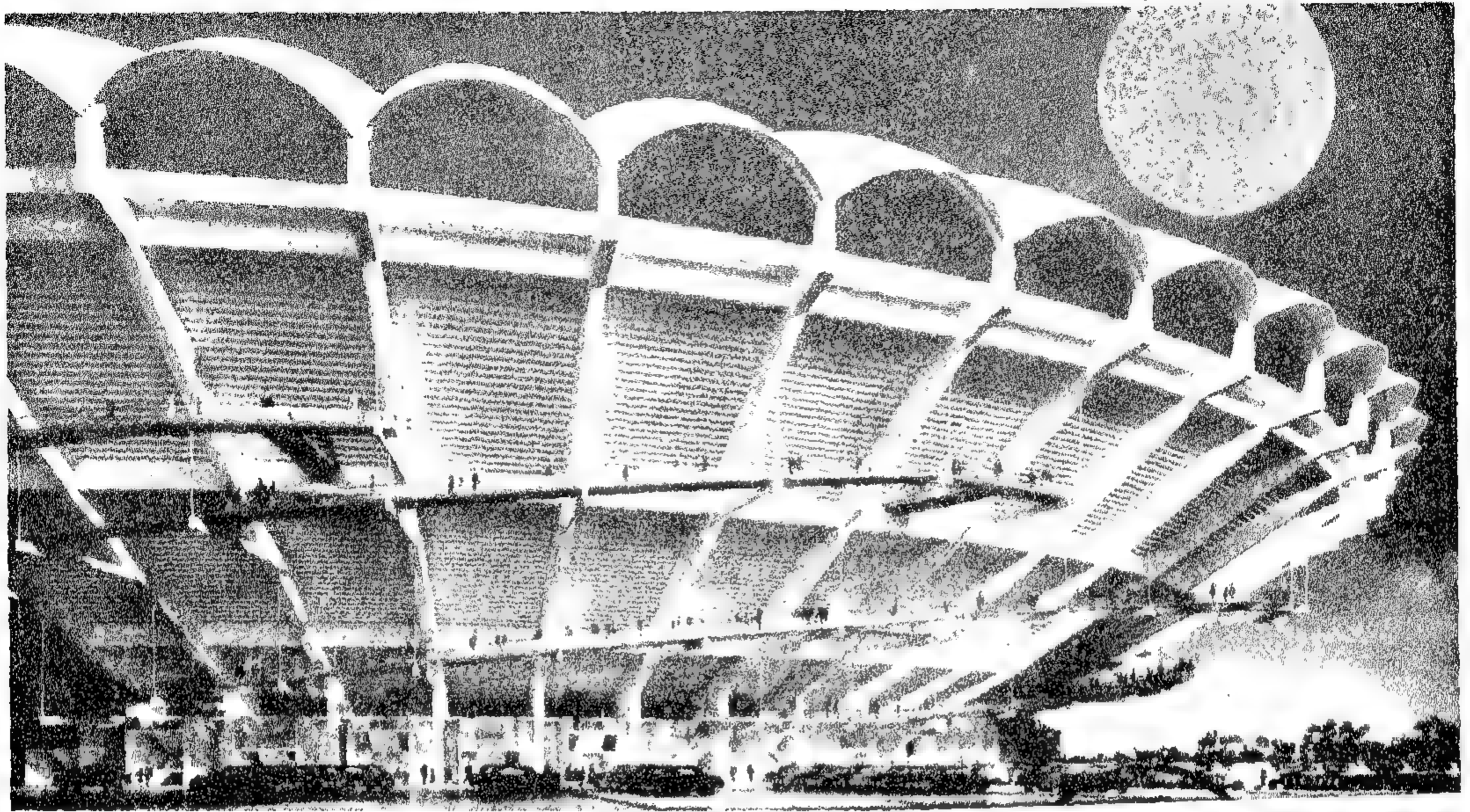
شكل ٤٥٠



شكل ٤٥١

أشكال دورانية بوحداث خطية

(شكل ٤٥٠) صالة العرض المثوية في برسلو بألمانيا
(المعماري ماكس بيرج سنة ١٩١٢ - ١٩١٣)
(شكل ٤٥١) مصنع ماكينات في أفينيون بفرنسا
بقطر خارجي ٤٣٦ قدما وحلقة شد خارجية وضغط
داخلية.

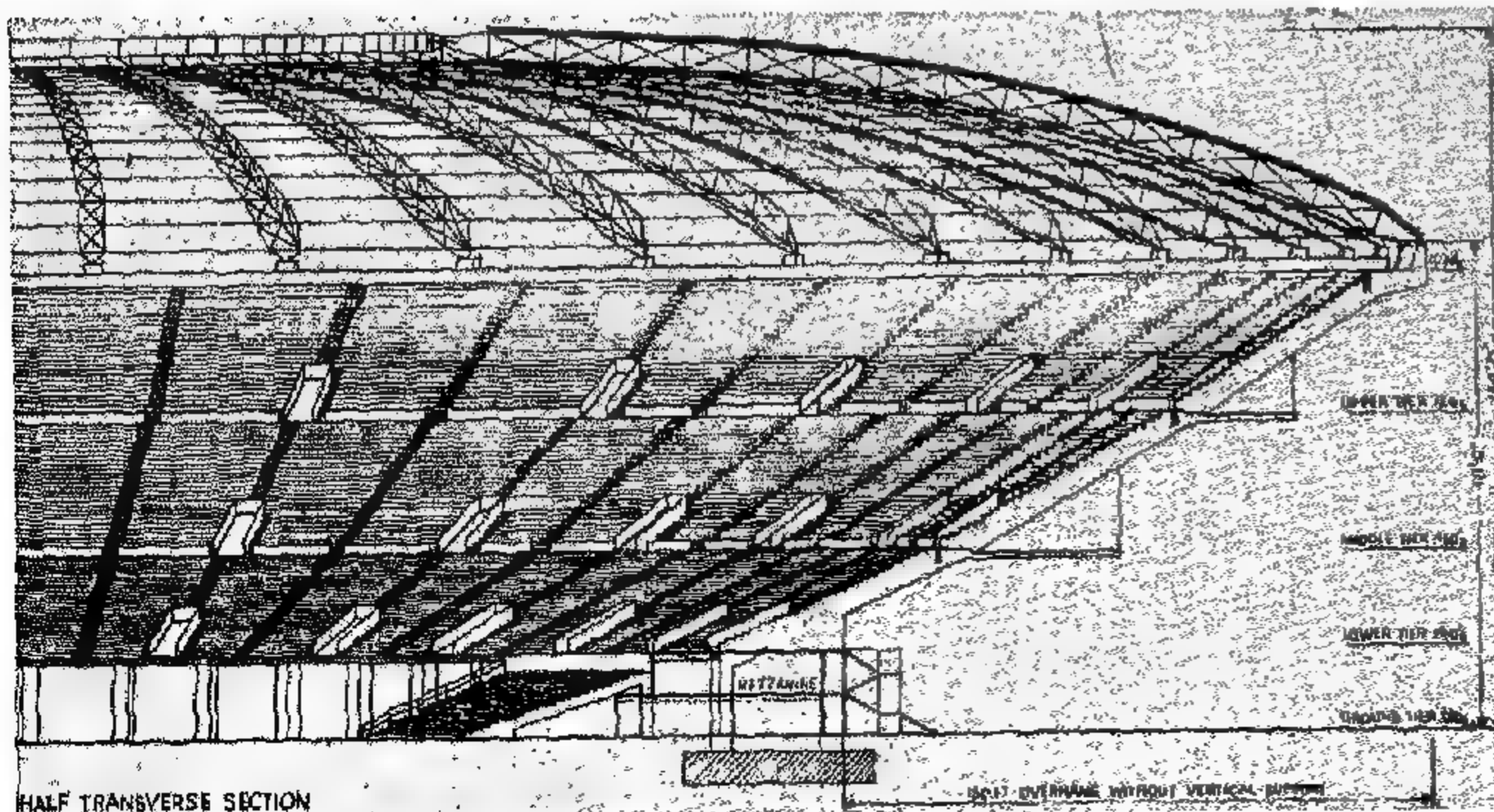


شكل ٤٢

أشكال دورانية بوحدة خطية

- (شكل ٤٥٢) مشروع إستاد بدون أعمدة - يسع ١٠٠,٠٠٠ مقعد
- (الممارين ريموند ورادو والإنشائين ويد لنجروسا لنادوري)
- (شكل ٤٥٣) قطاع نصف في المقاعد والكراوات الدائرية
- (شكل ٤٥٤) مسقط للإستاد
- (شكل ٤٥٥) مراحل الإنشاء المختلفة

شكل ٤٥٣



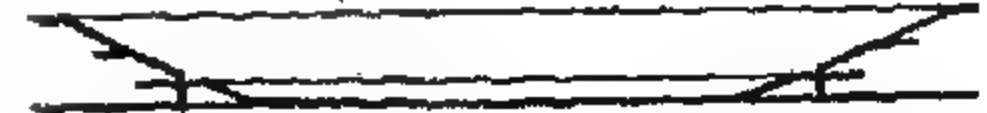
شكل ٤٥٥



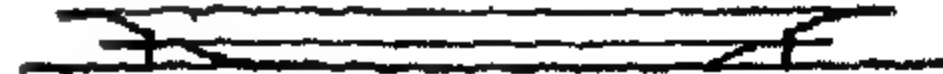
Total capacity 100,000 under roof



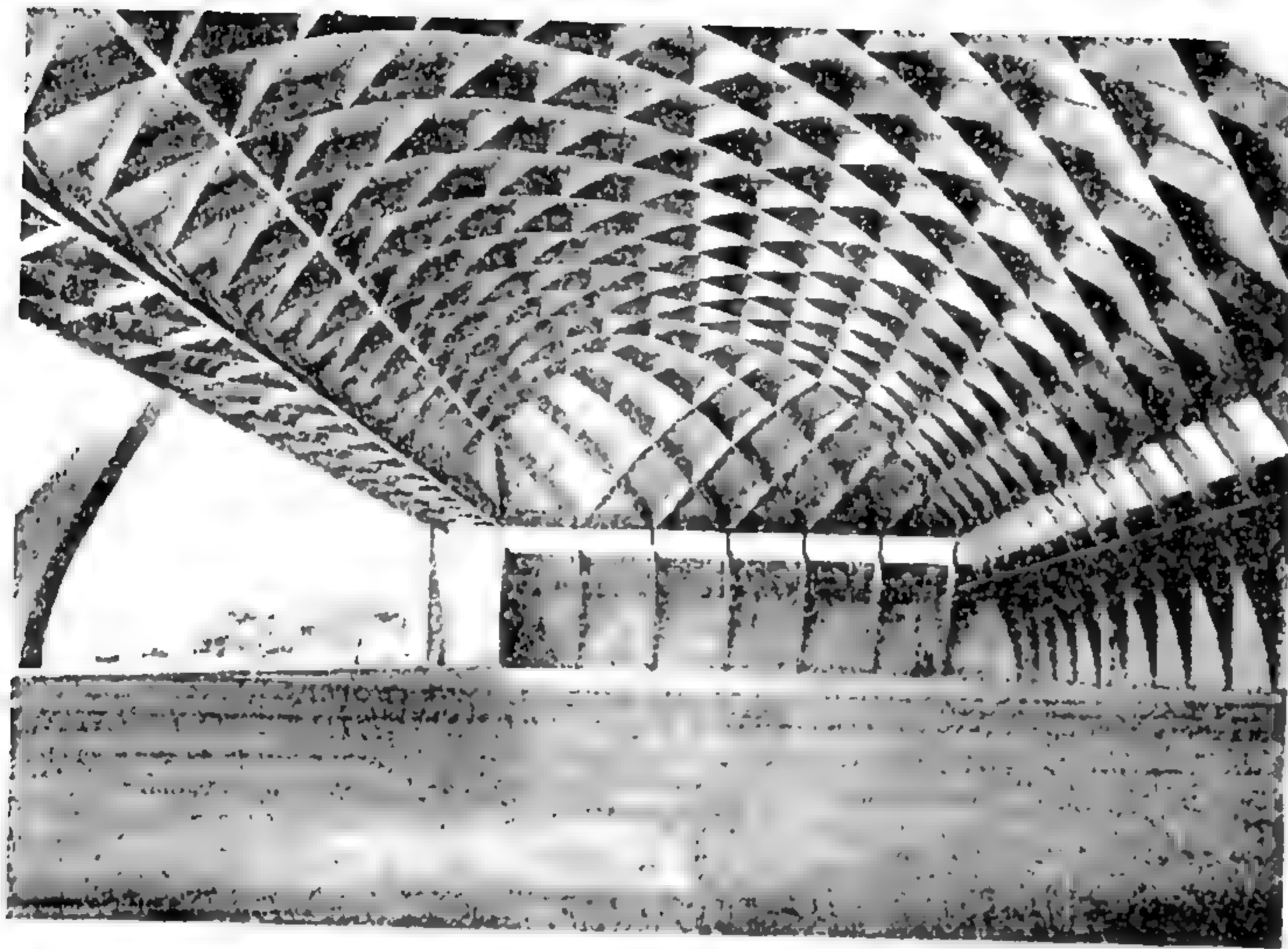
Total capacity 100,000



Total capacity 64,500



Total capacity 33,000



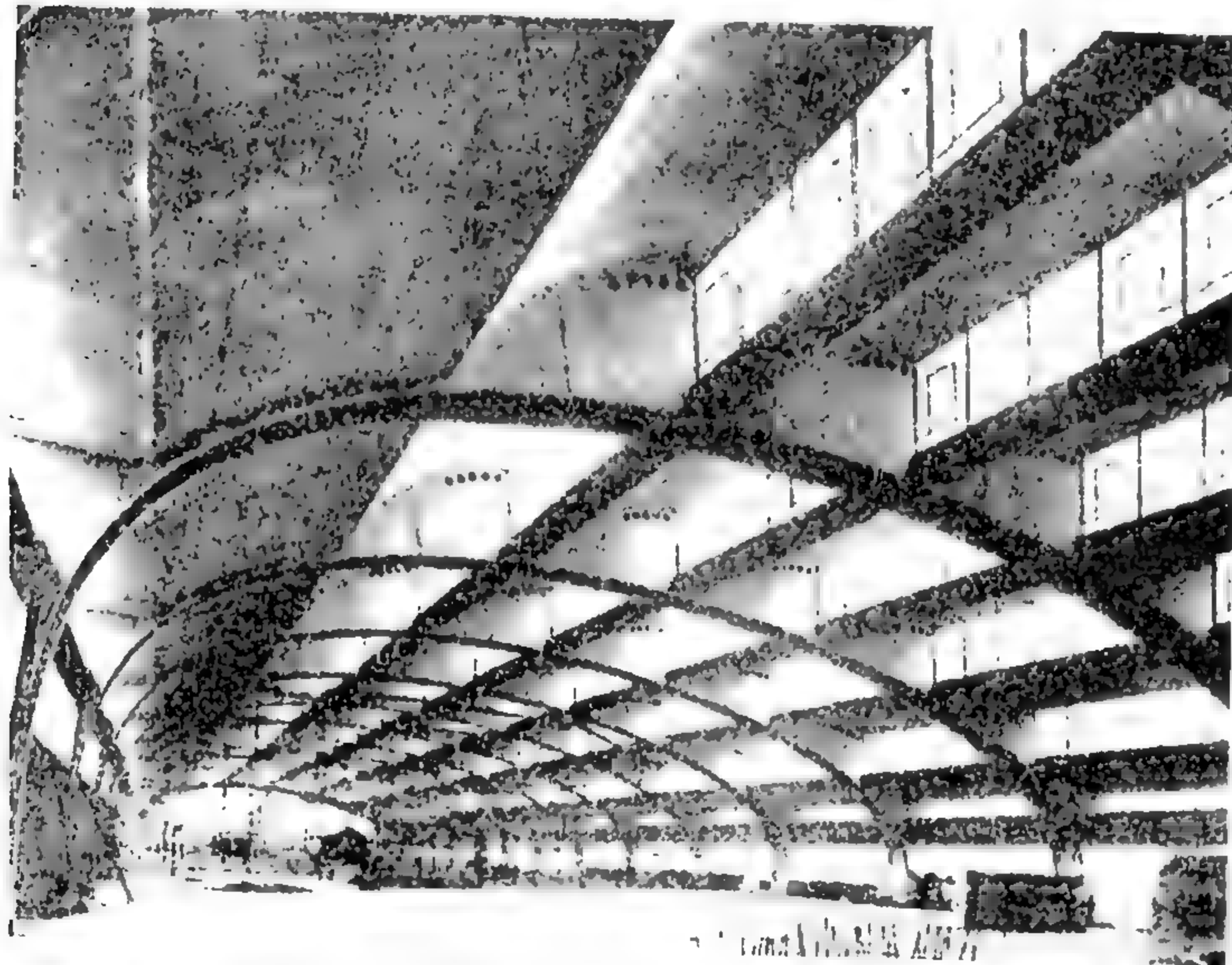
شكل ٤٥٦

وحدات خطية مفردة الانحناء

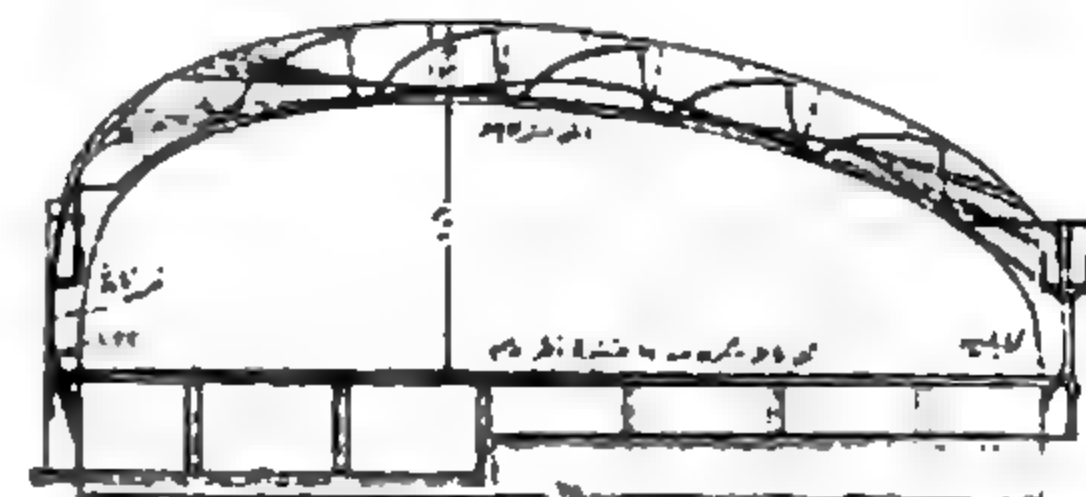
(شكل ٤٥٦) سقف لامبلا لحظيرة طائرات بالقرب
من روما (الإنشائي بيير لويجي فيري :)
(شكل ٤٥٧) كنيسة سانت جان بابتست في مولينيك
بروكسل بلجيكا سنة ١٩٣٣ .
(شكل ٤٥٨) هياكل منحنية وقبوات للإضاءة العلوية
في صالة مطبعة ديدن بأيرلندا .

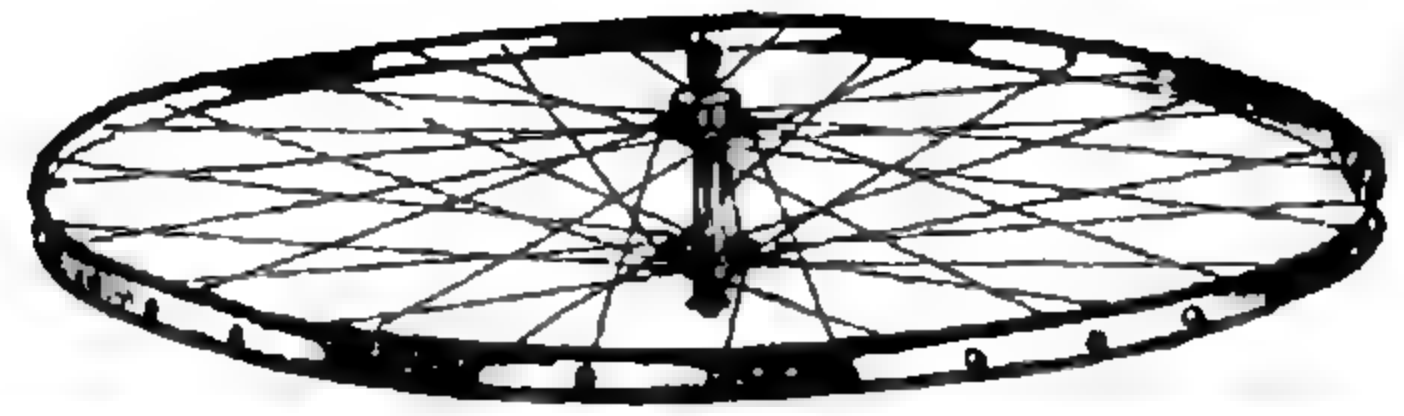


شكل ٤٥٧

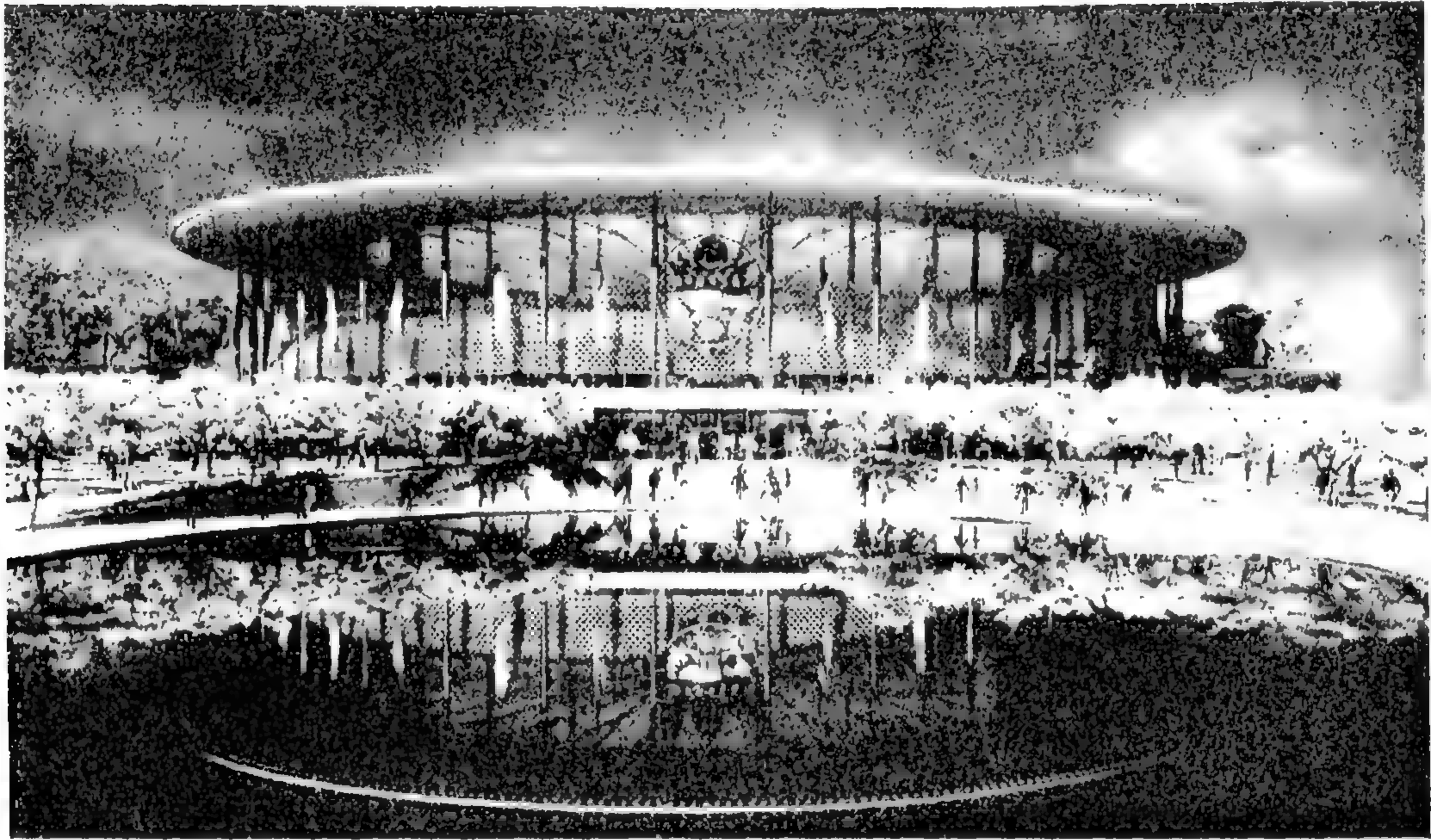


شكل ٤٥٨

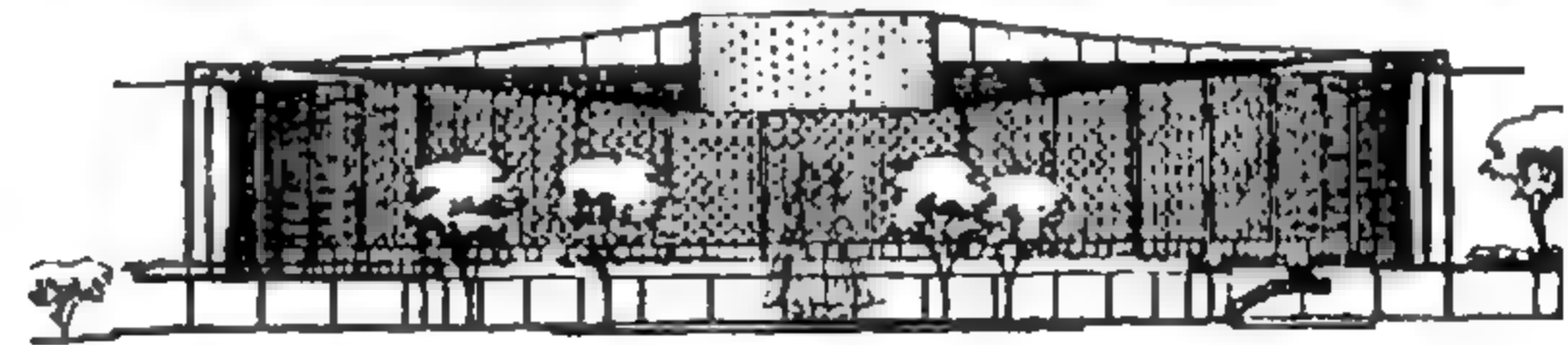
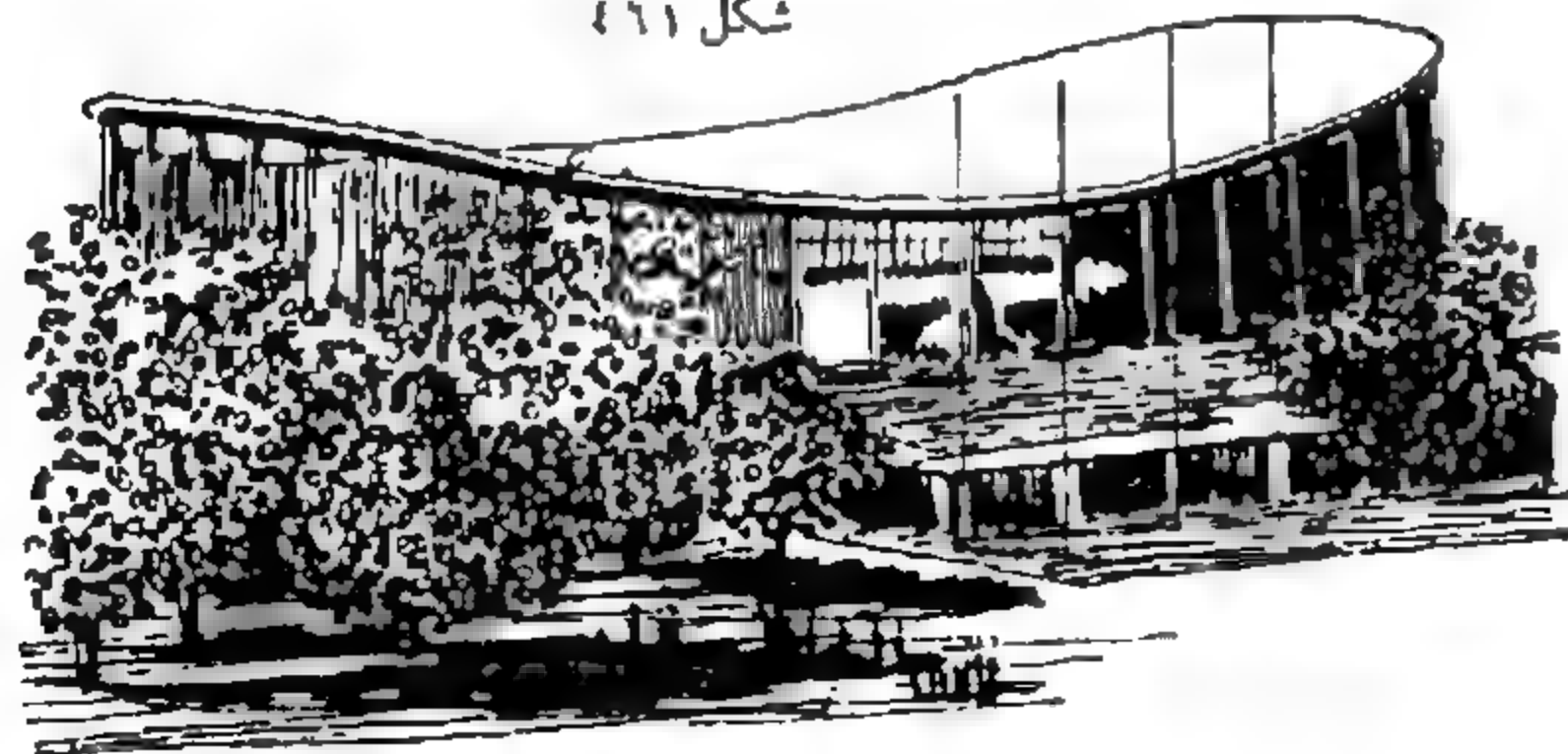




شكل ٤٥٩



شكل ٤٦١



شكل ٤٦٠

وحدات خطية كحلقات انضغاط لأسقف معلقة

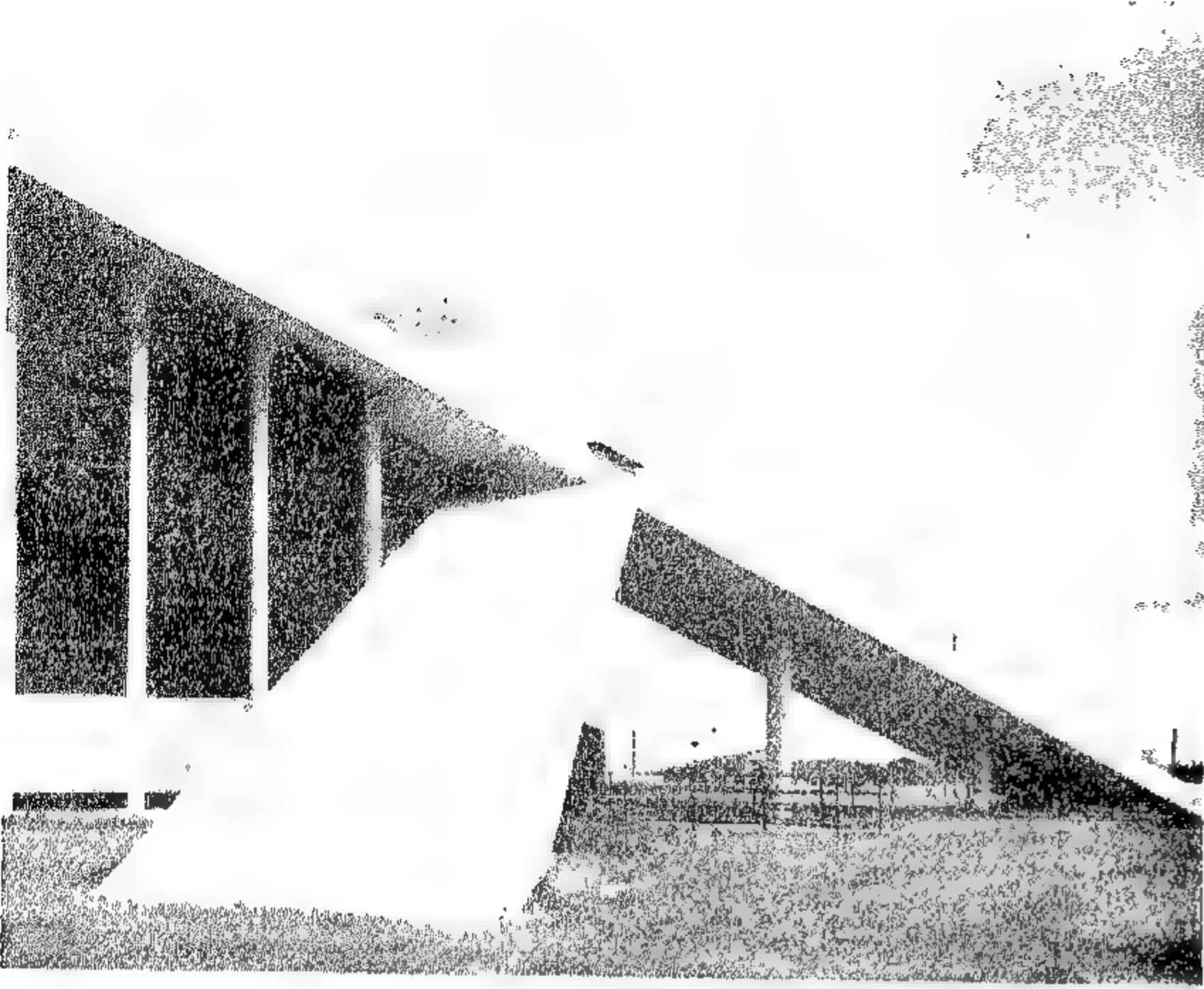
(شكل ٤٥٩) الجناح الأمريكي بمعرض بروكسل لعام ١٩٦٠ (المهندس

المعماري إدوارد ستون)

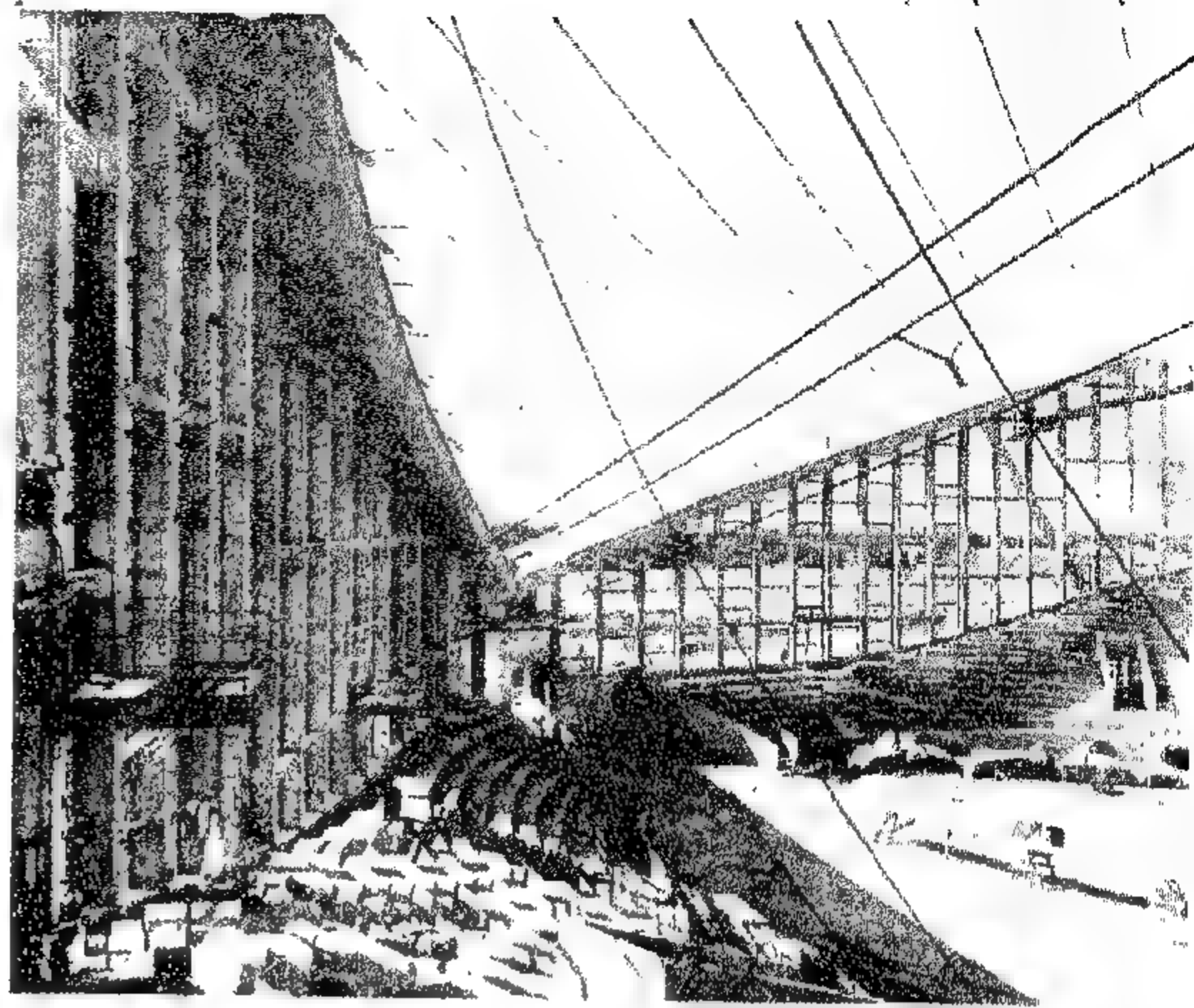
(شكل ٤٦٠) قطاع .

(شكل ٤٦١) صالة الاجتماعات بمدينة كارلسروه بألمانيا .

شكل ٤٦٢



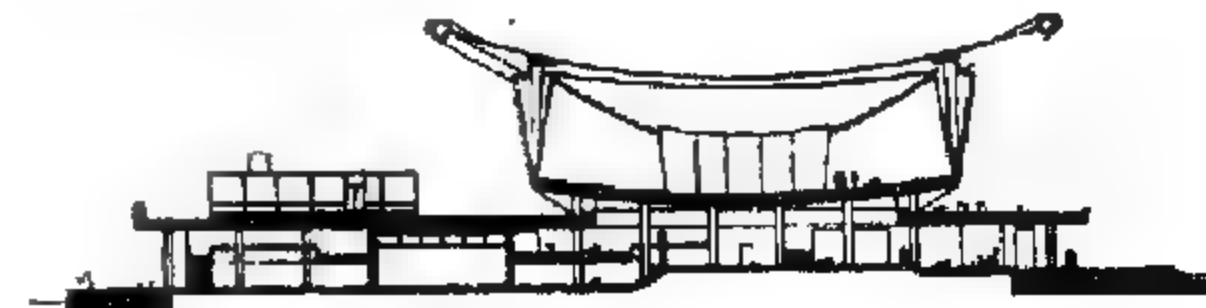
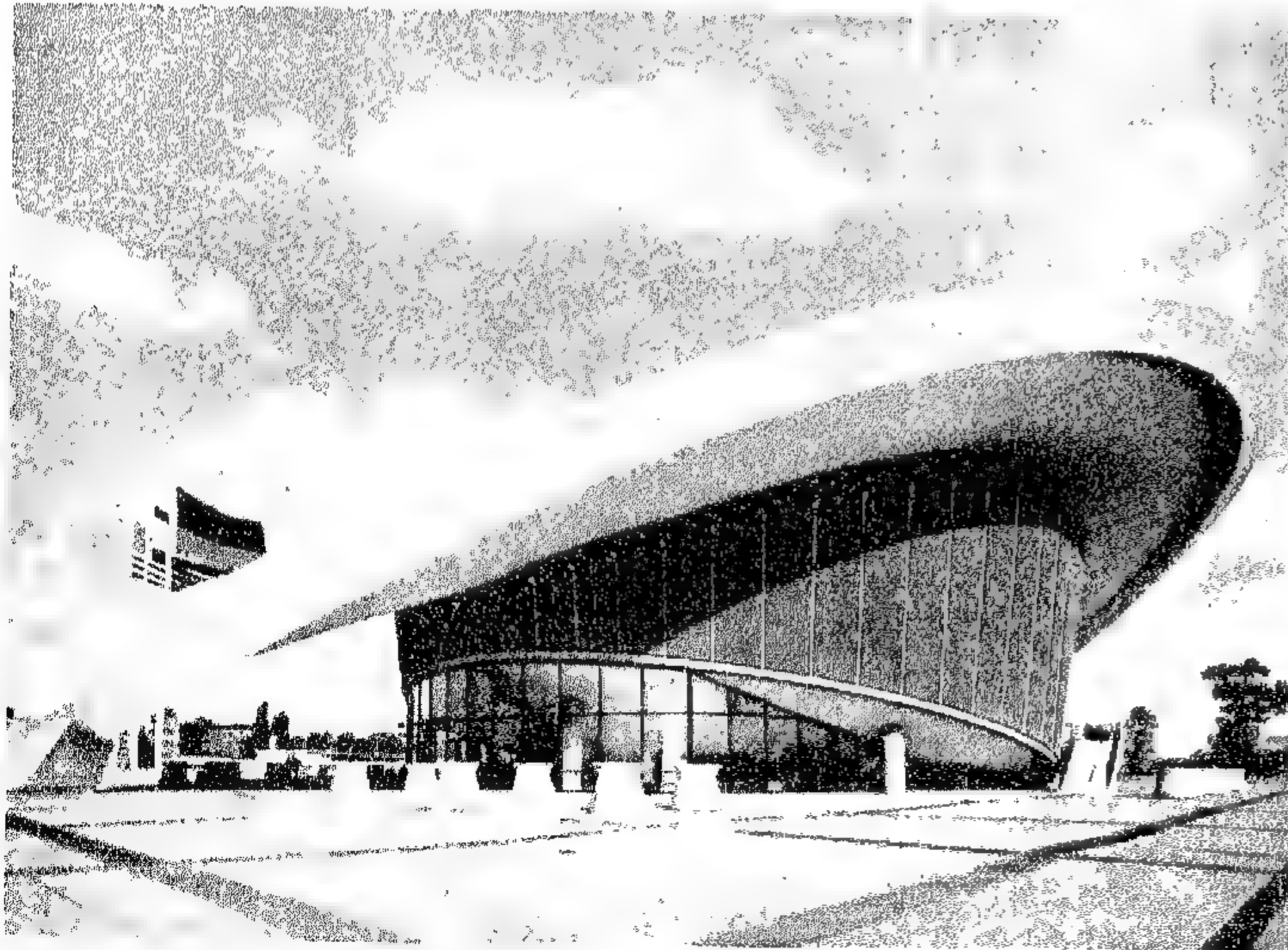
شكل ٤٦٣



شكل ٤٦٤

وحدات خطية تتوازن مع أسقف معلقة على شكل قطع زائدي مكافئ

- (شكل ٤٦٢) ساحة مدينة راليه بكارولينا الشمالية منظر داخلي .
- (شكل ٤٦٣) منظر خارجي للساحة .
- (شكل ٤٦٤) صالة اجتماعات الكونجرس ببرلين (المعماري هيرج ستابنر) والإنشائي فرد سيثرد .
- (شكل ٤٦٥) قطاع بالصالة .



شكل ٤٦٥



وحدات خطية حاملة لأسقف

شكل ٤٦٦

معلقة

(شكل ٤٦٦) ملعب الهوكي

بجامعة ييل - نيويورك بولاية

كتكت (المعماري أيروسارين

سنة ١٩٥٨).

(شكل ٤٦٧) تحميل أسقف أفقية

على عقود رأسية على شكل قطع

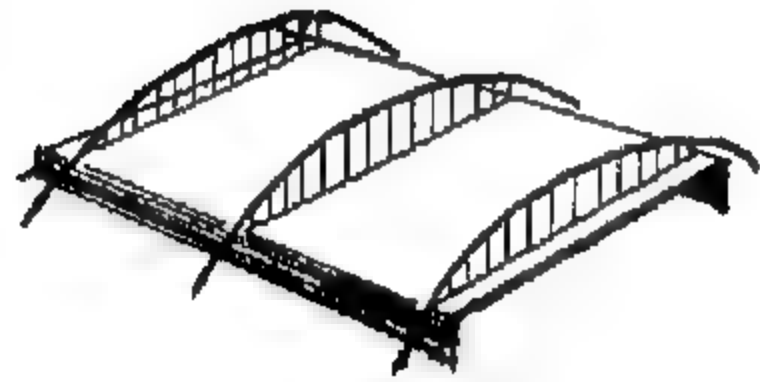
مكافئ.

(شكل ٤٦٨) تحميل أسقف أفقية

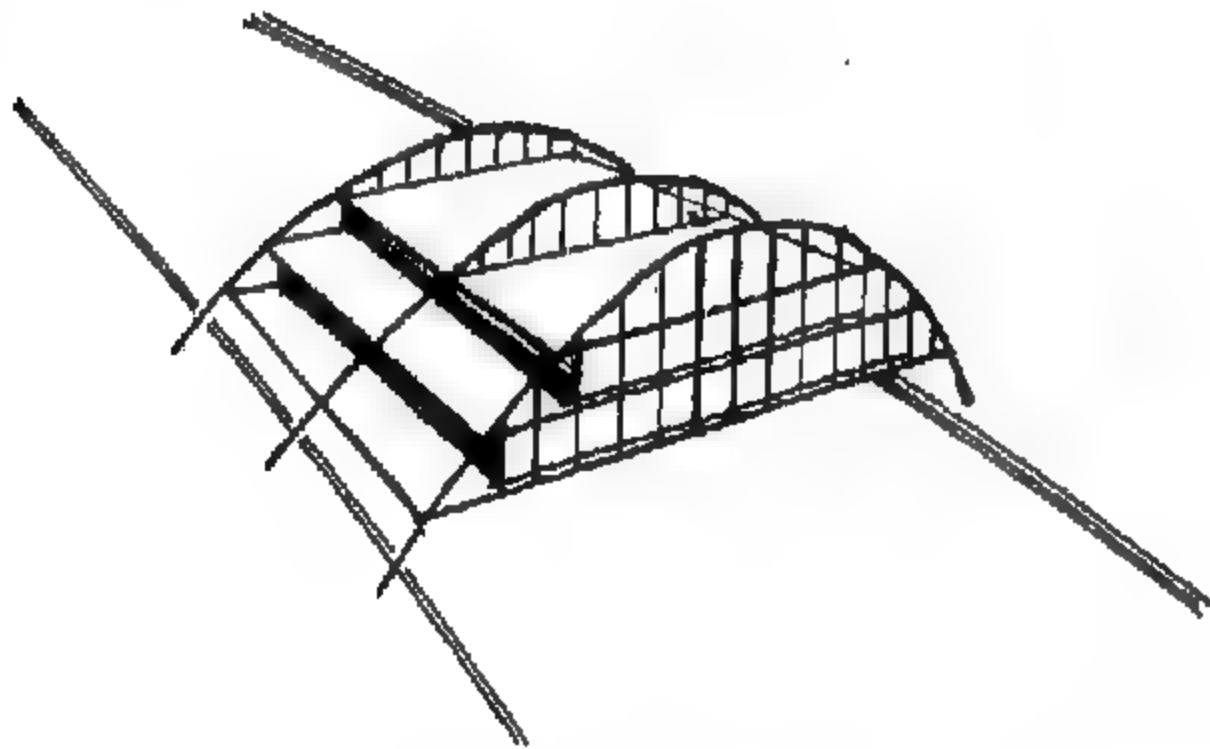
على عقود مائلة متزنة.

(شكل ٤٦٩) احتمالات تحميل

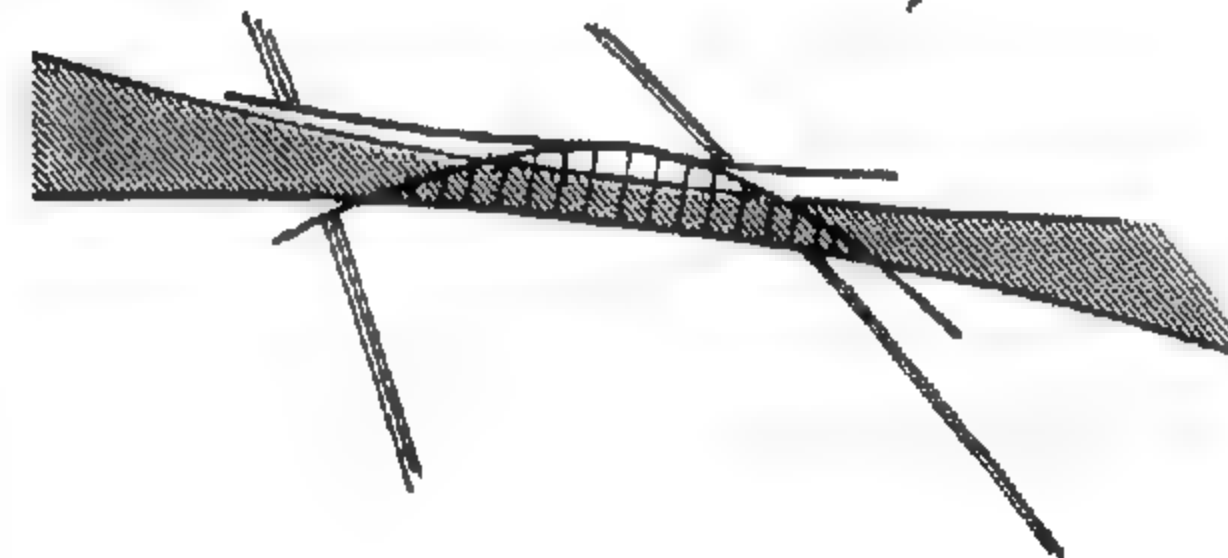
أسقف متعددة من عقود مكافئة.



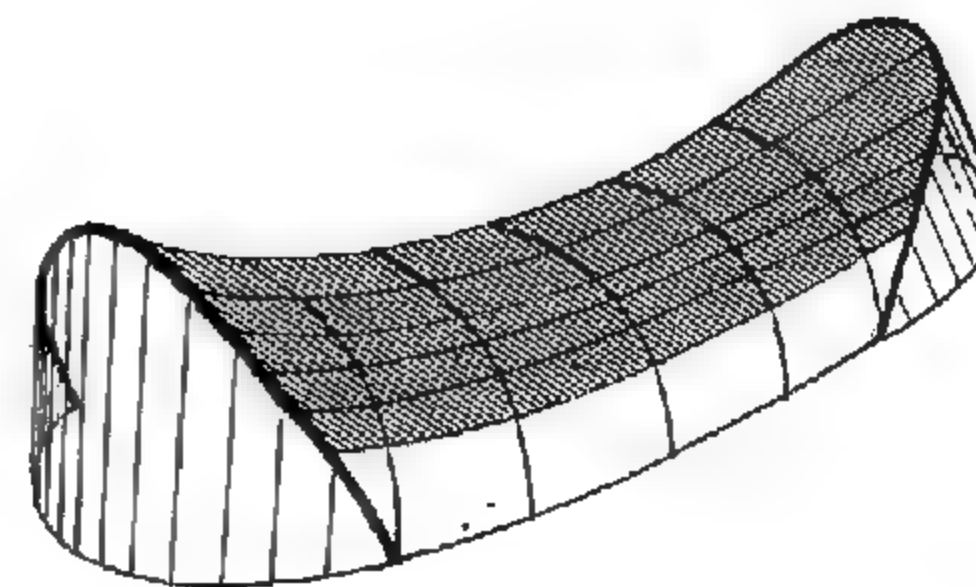
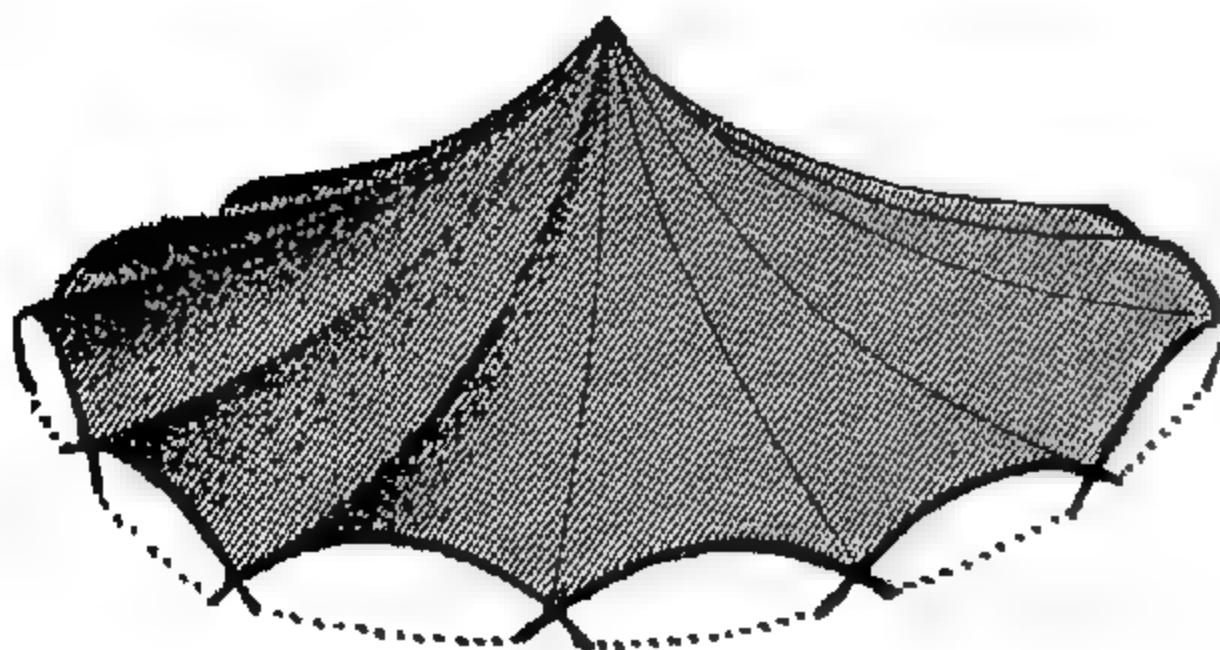
شكل ٤٦٧

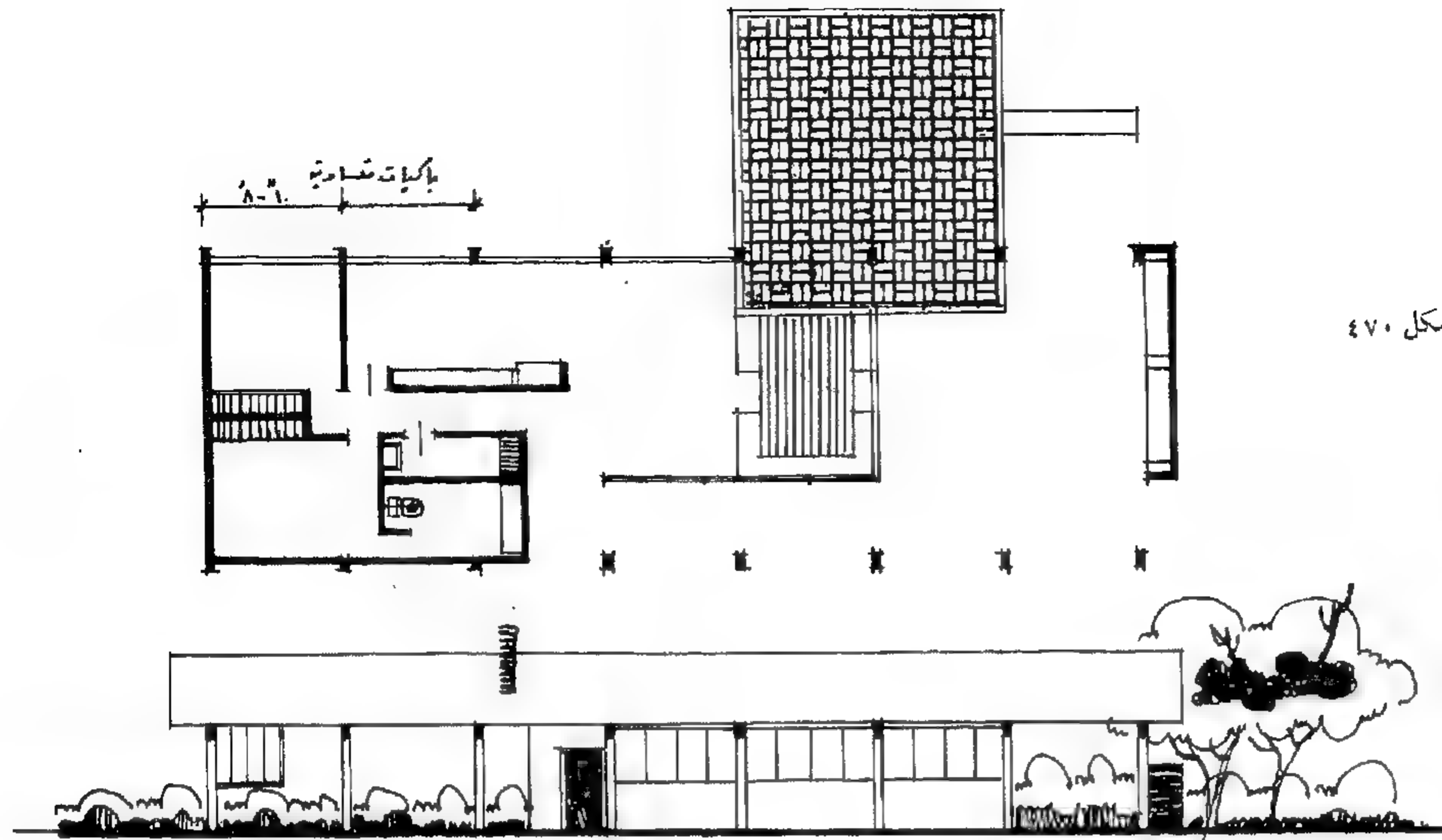


شكل ٤٦٨



شكل ٤٦٩





شكل ٤٧٠

هياكل جاهزة ثلاثية المفصلات

- (شكل ٤٧٠) هياكل جاهزة استعملت في منزل تجريبي في
 نوكتشيل في تنسي سنة ١٩٥٤ .
 (شكل ٤٧١) هياكل جاهزة من إنجلترا (الإنشائي جلوفر
 وشركاه) .
 (شكل ٤٧٢) هياكل جاهزة ظهرت في الولايات المتحدة .
 (شكل ٤٧٣) فصل الحوائط الخارجية عن الهياكل الجاهزة .



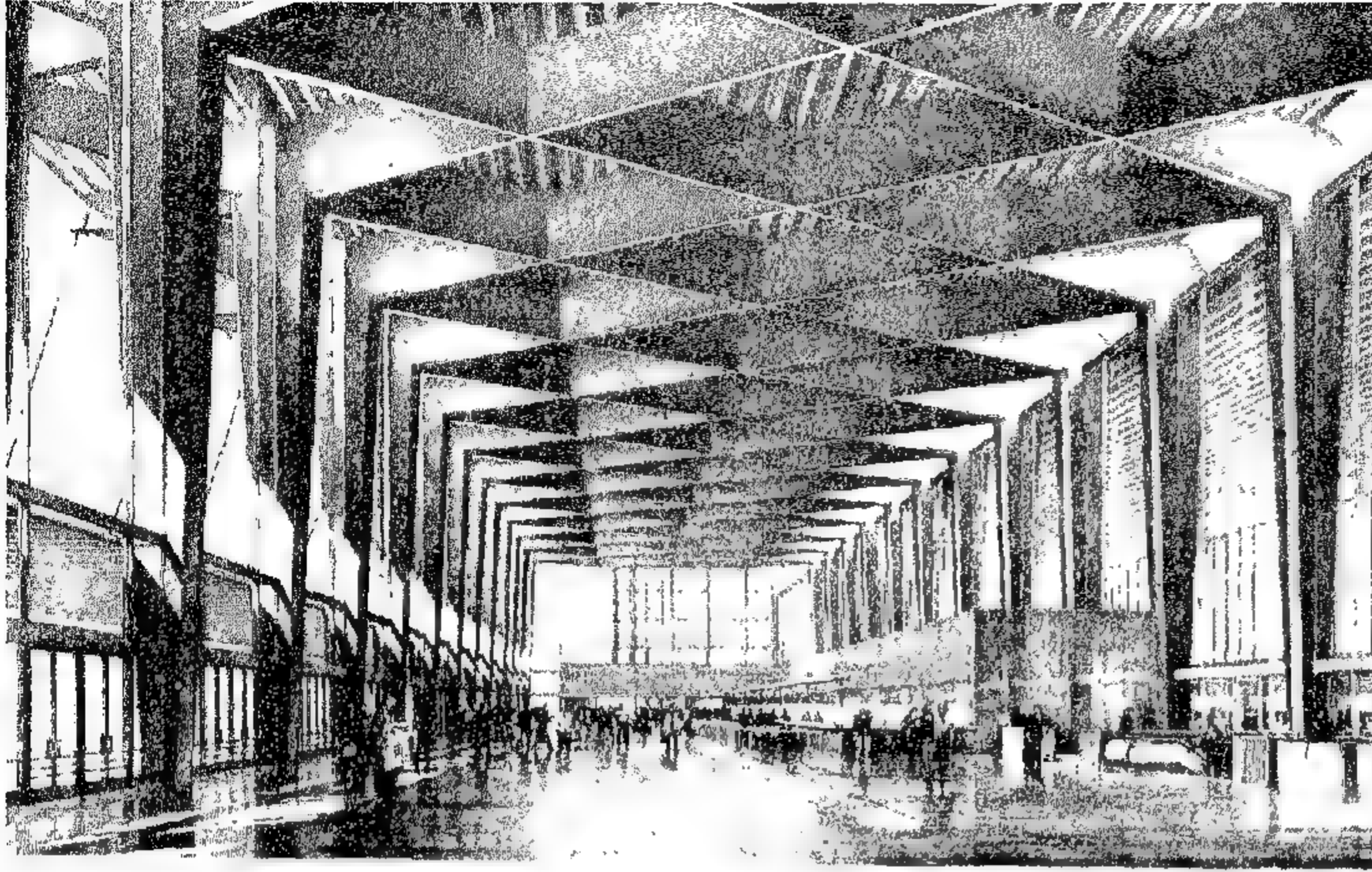
شكل ٤٧١



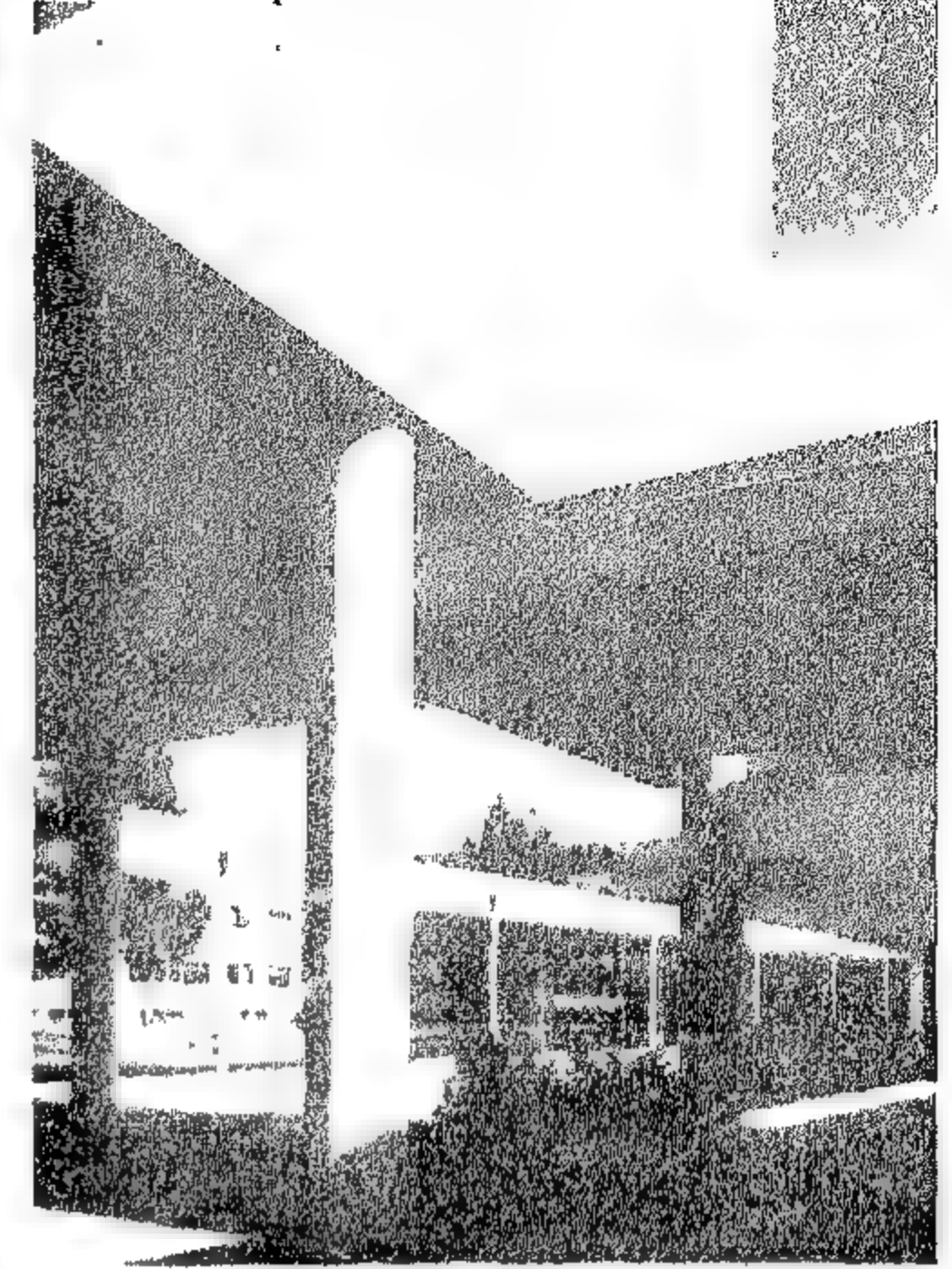
شكل ٤٧٢



شكل ٤٧٣



شكل ٤٧٥

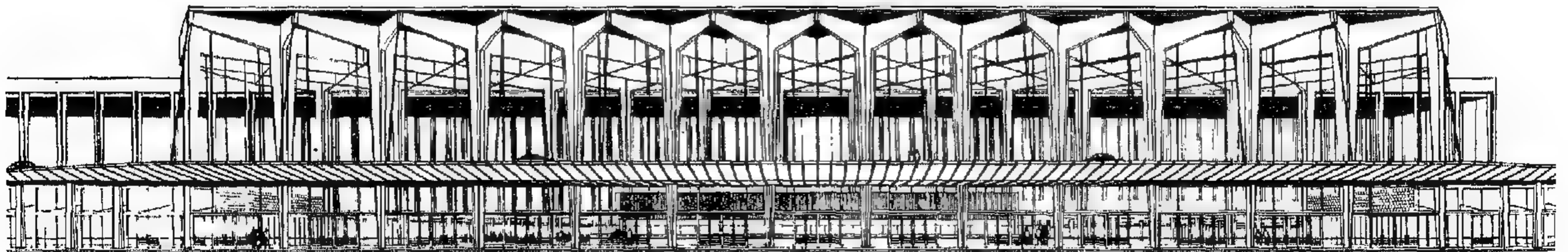


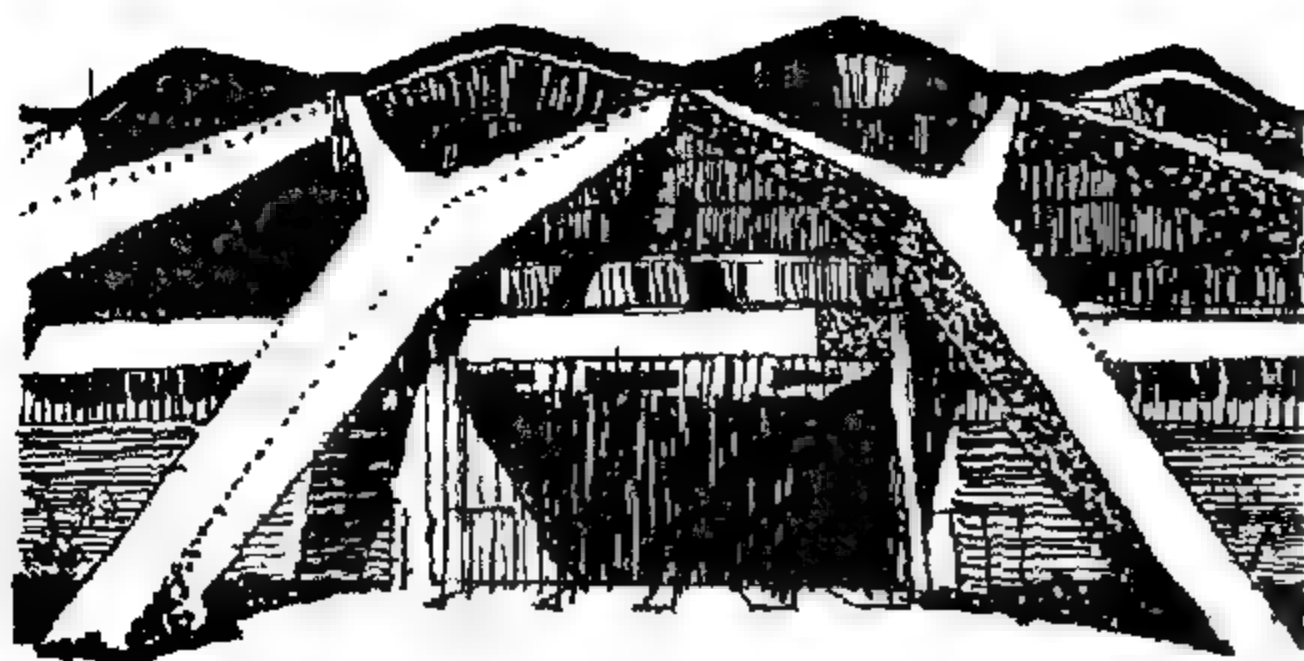
شكل ٤٧٤

المرونة في تشكيل الأعمدة الخرسانية

(شكل ٤٧٤) أعمدة أسطوانية في مركز الدراسات العليا بجامعة هارفارد . (مكتب المماريين المتعاونين ١٩٤٩ - ١٩٥٠) .
(شكل ٤٧٥) مشروع فيرثي لخطة السكك الحديدية الرئيسية بمدينة نابل سنة ١٩٥٤ - منظور داخل .
(شكل ٤٧٦) منظور خارجي لخطة نابل .

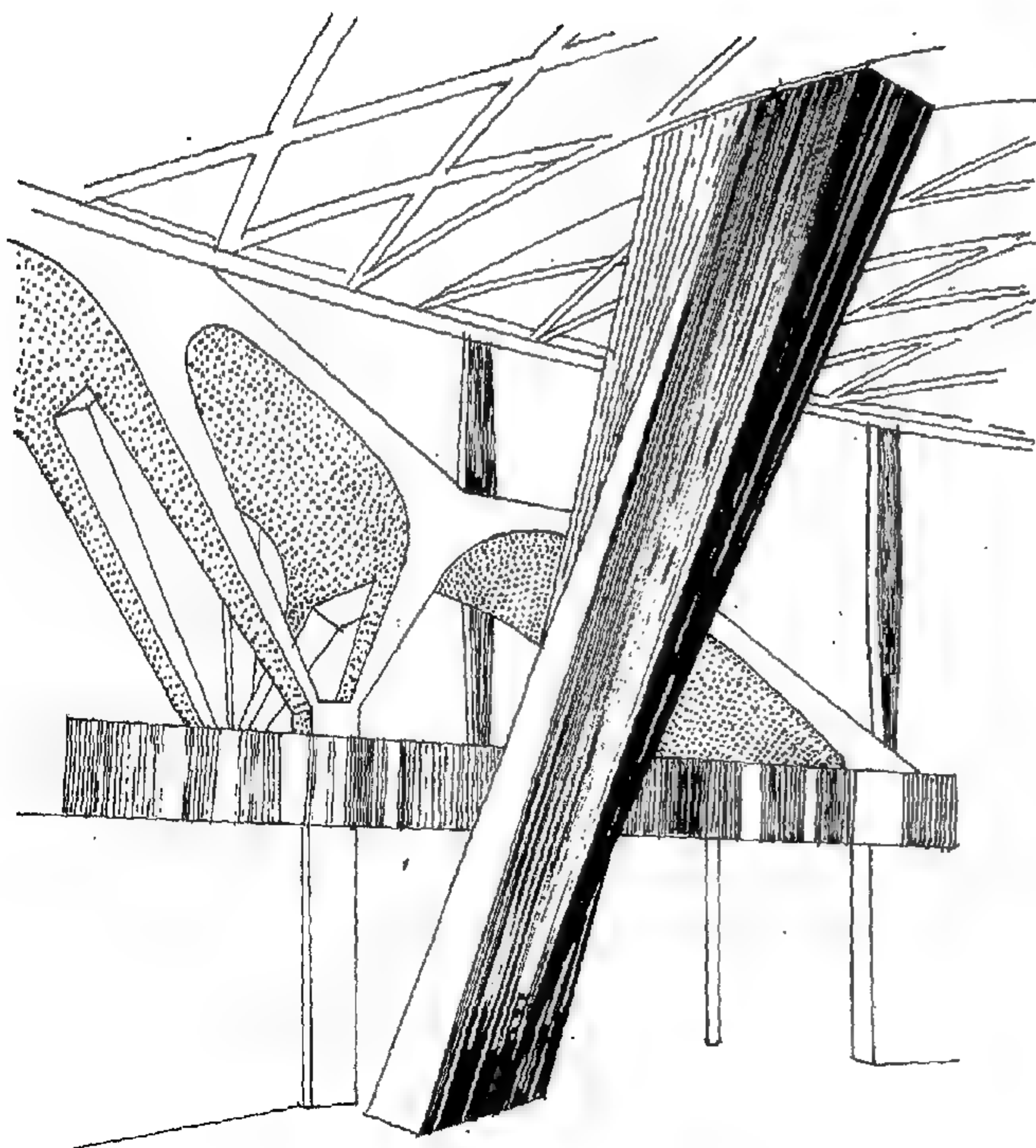
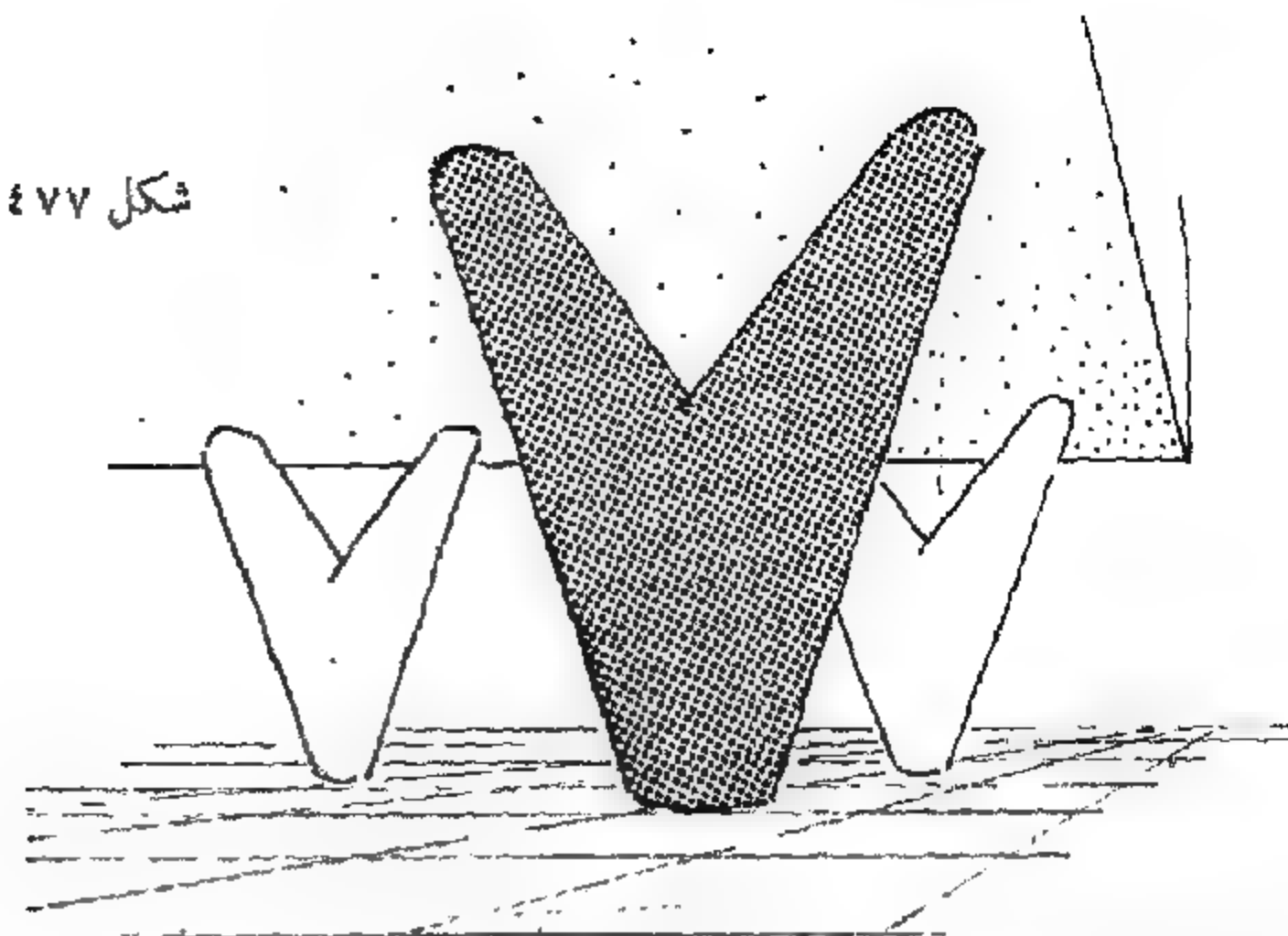
شكل ٤٧٦



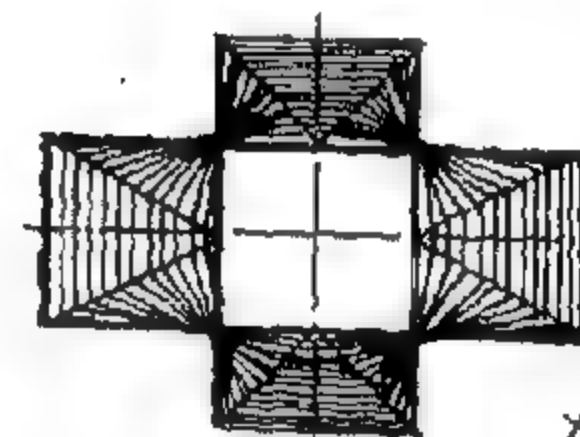
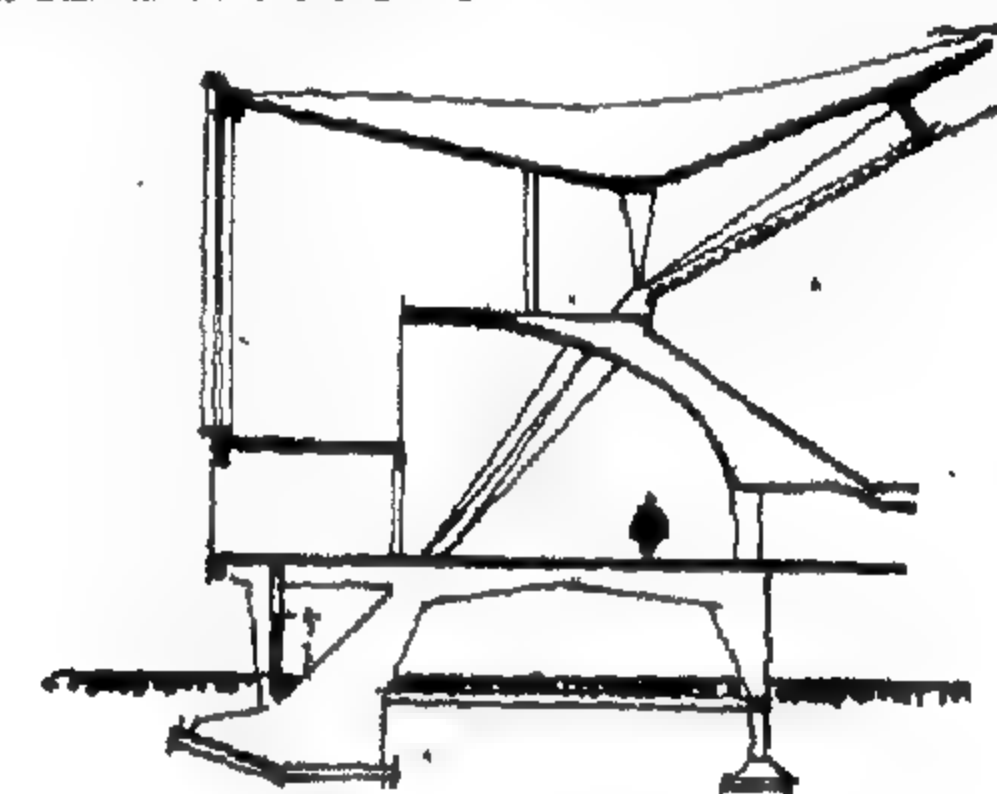


شکل ۴۷۸

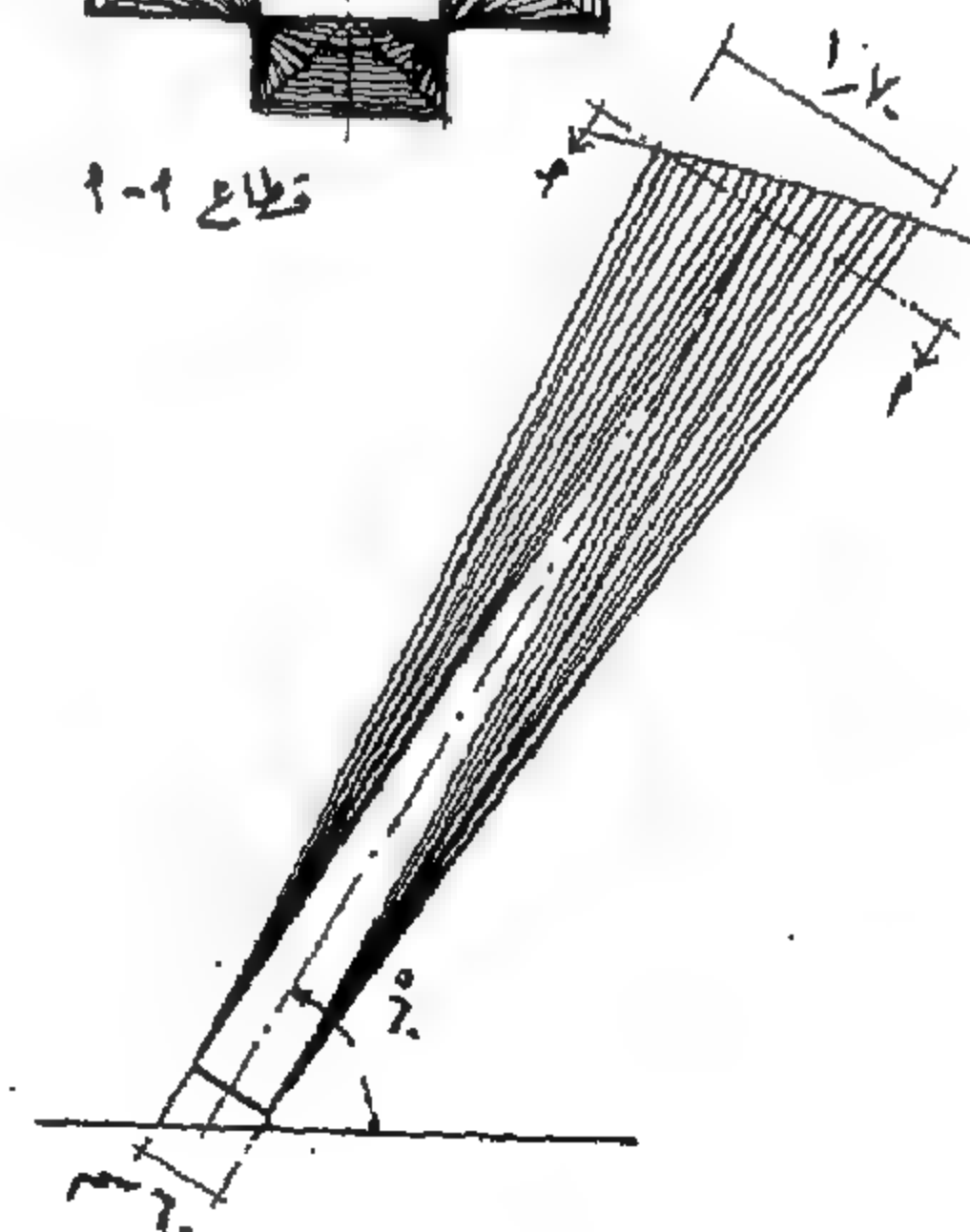
شکل ۴۷۷

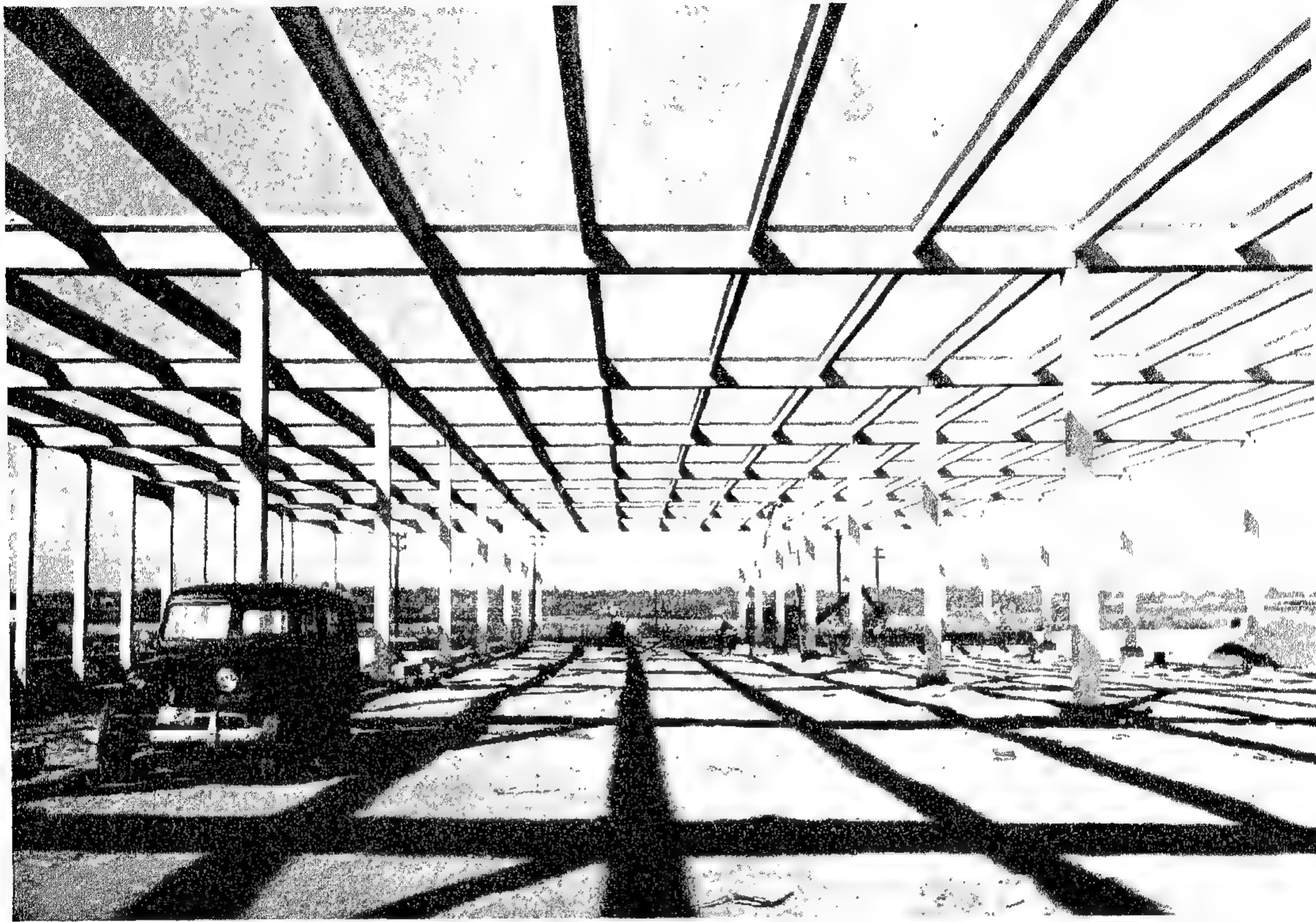


شکل ۴۷۸ ب



قطاع ۱-۱

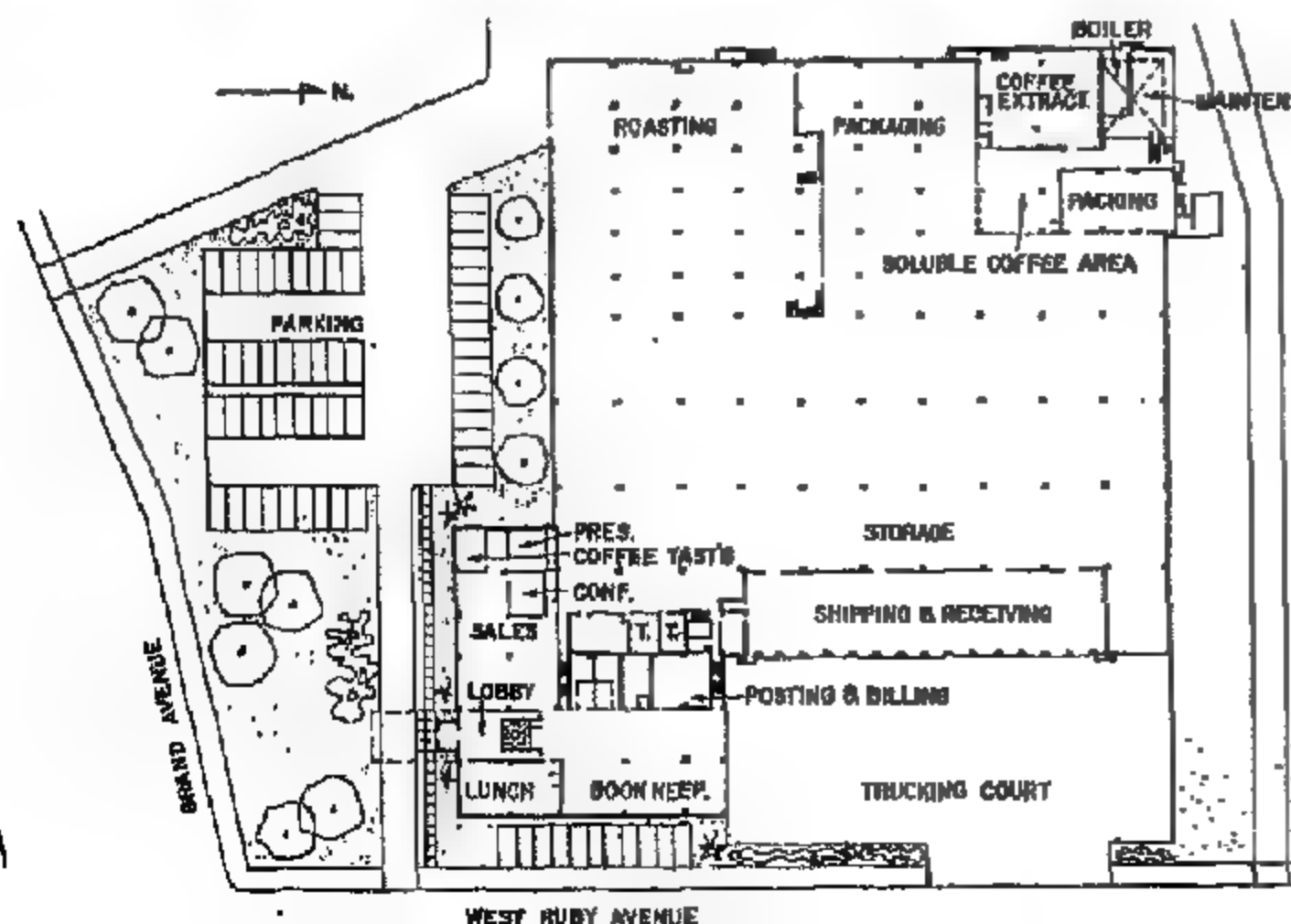




وحدات خطية في إنشاءات بالعمود والعنبر

(شكل ٤٧٩) الوحدات الإنشائية لمصنع سافارين بنيوجري
(شكل ٤٨٠) مسقط أفق للمصنع ، بالاسيدز بارك .

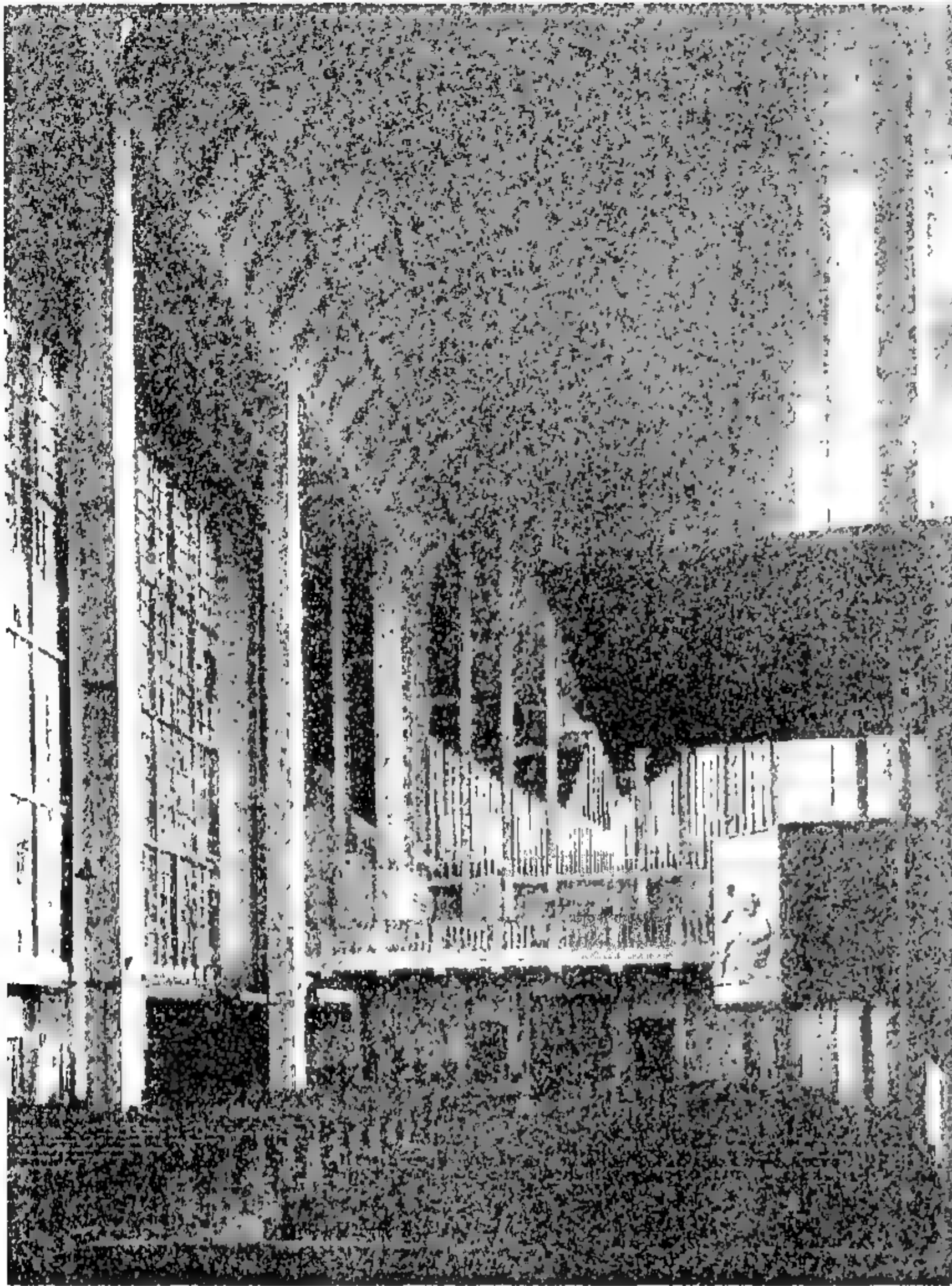
شكل ٤٨٠



المرونة في تشكيل الأعمدة الخرسانية

(شكل ٤٧٧) أعمدة مبنى الزراعة بريودي جانير و .
(شكل ٤٧٨) أعمدة قصر الرياضة الصغير
(أ) والكبير (ب) بروما .

شكل ٤٨١

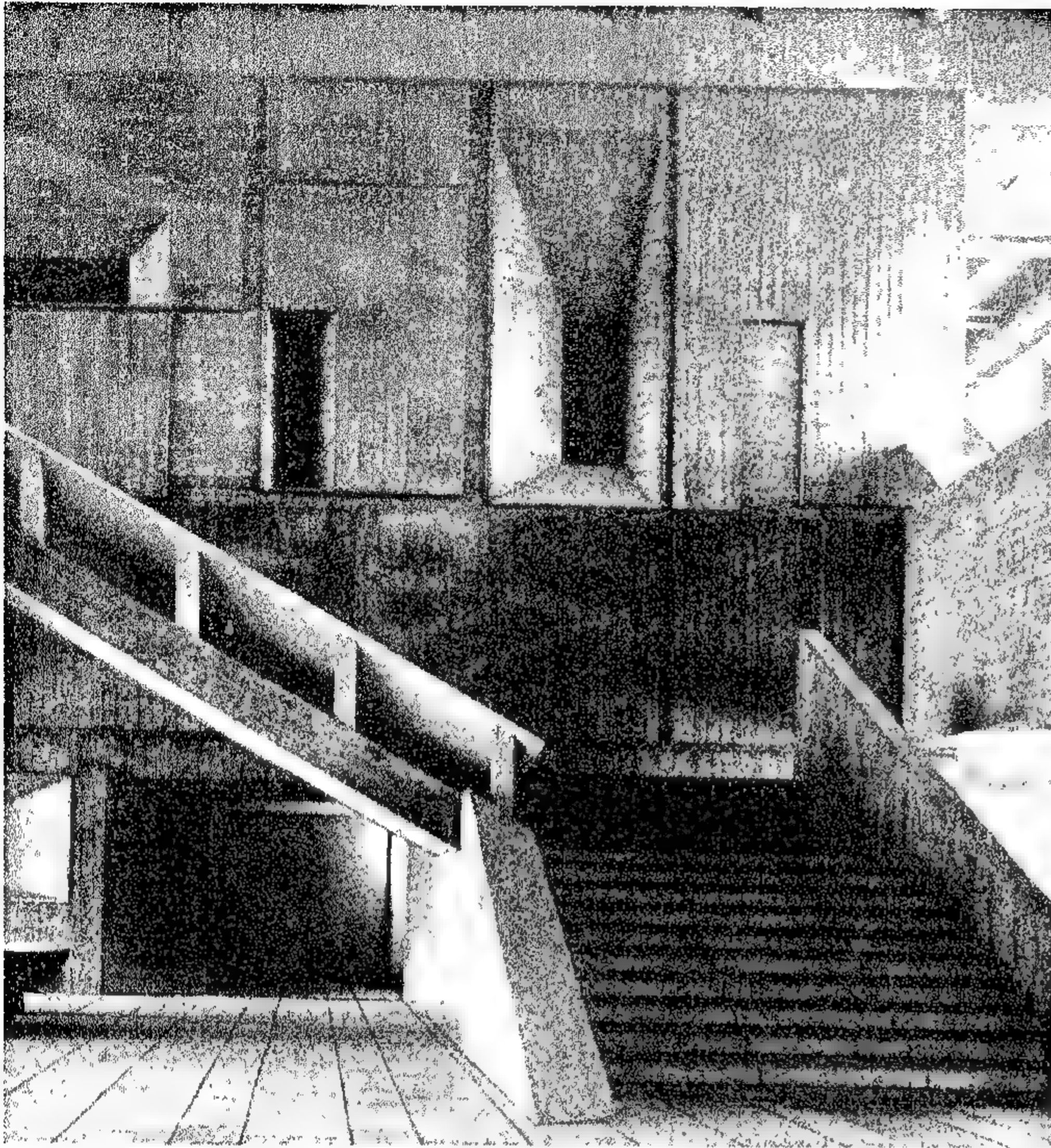


شكل ٤٨٢



أسطح خرسانية مكشوفة

- (شكل ٤٨١) كنيسة سانت أنطونيوس في بازل بسويسرا
(المهندس المعماري كارل موزر) .
(شكل ٤٨٢) كنيسة سانت باتريك بطوكيو باليابان (المهندسان
المعماريان ريموند وراود) .

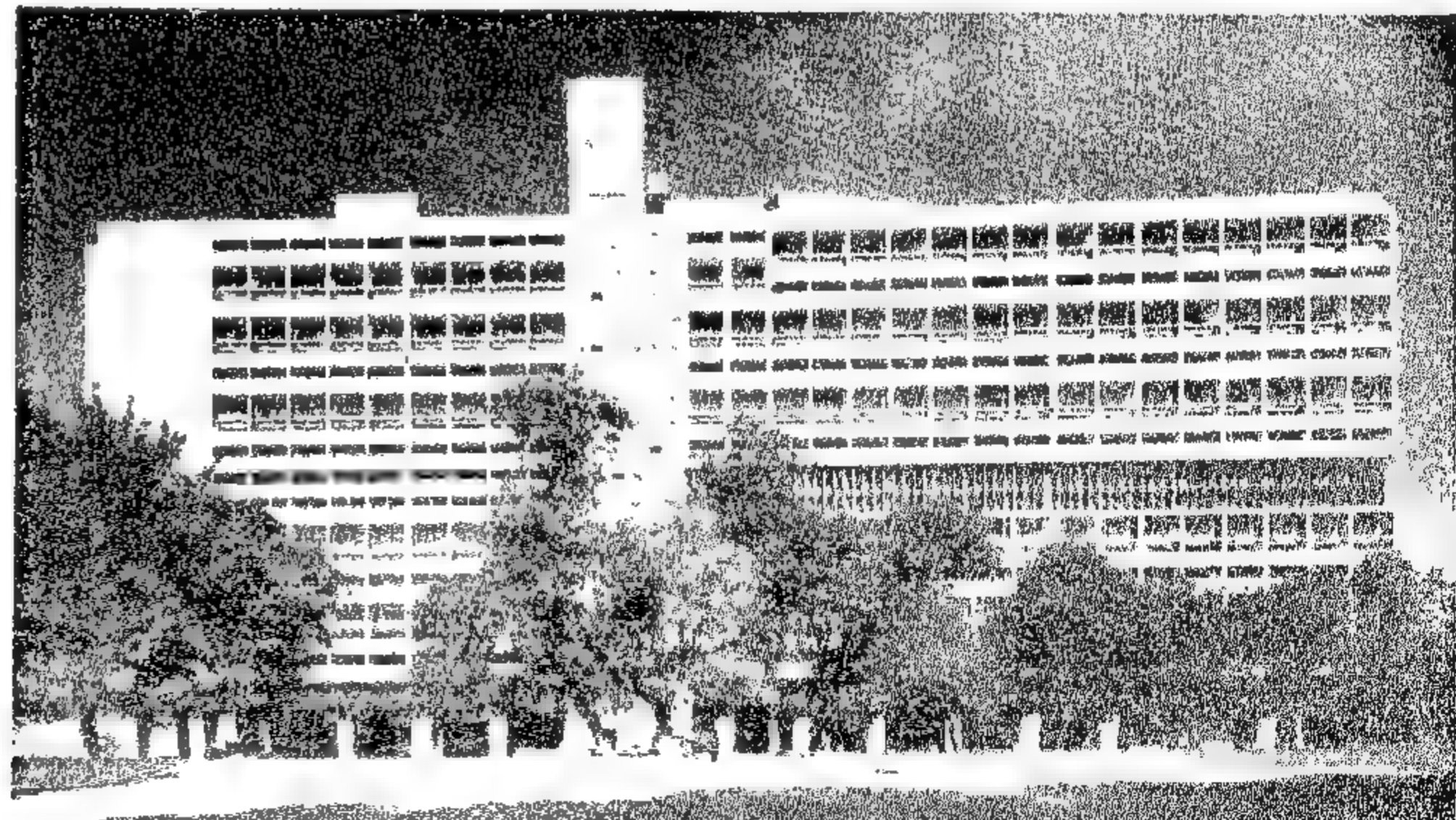


شكل ٤٨٣

أسطح خرسانية مكشوفة

(شكل ٤٨٣) صالة المدخل بدار مجلس مدينة كوراشيكي
باليابان (المهندس المعماري كنزو تانجي)
(شكل ٤٨٤) مجموعة مارسيلا السكنية (المهندس المعماري
لو كوربوزيه) .

شكل ٤٨٤

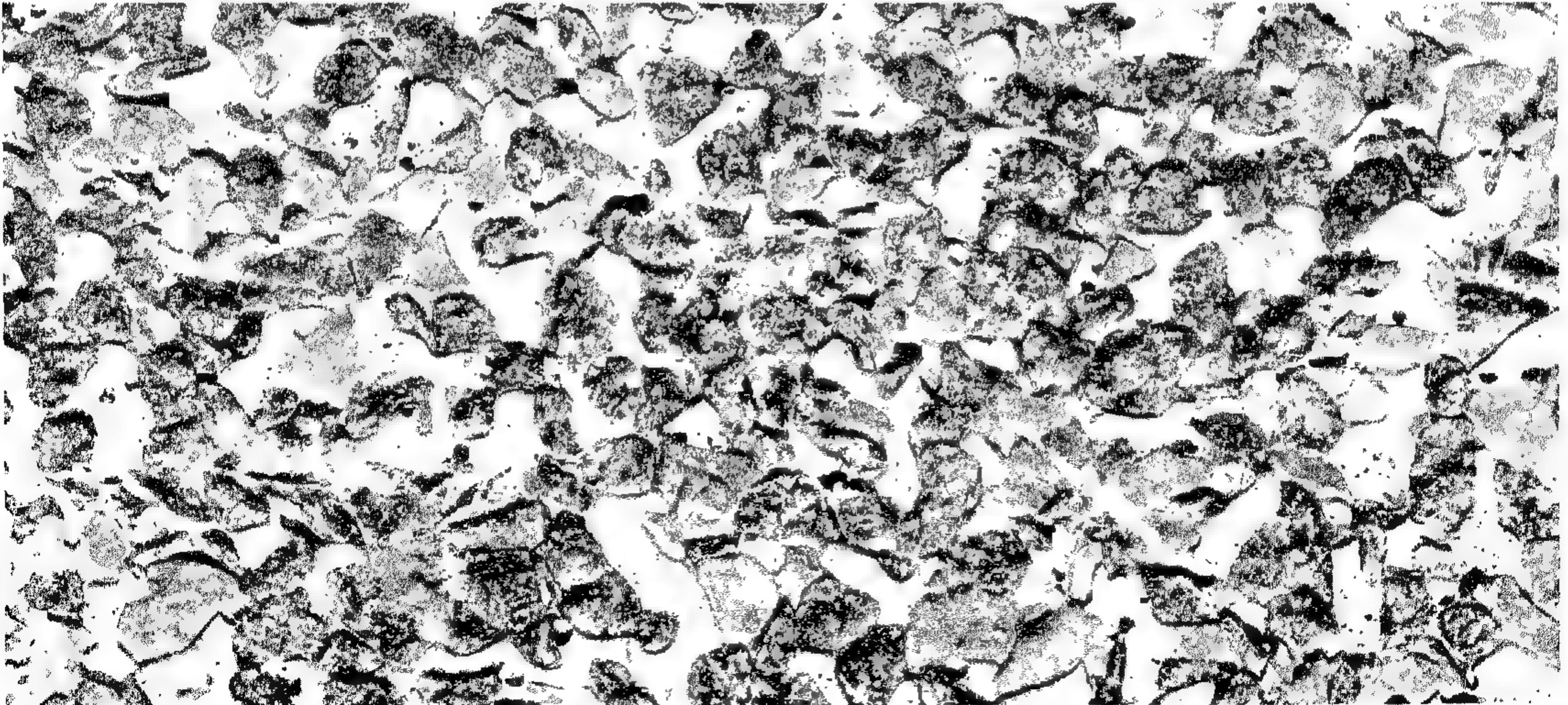
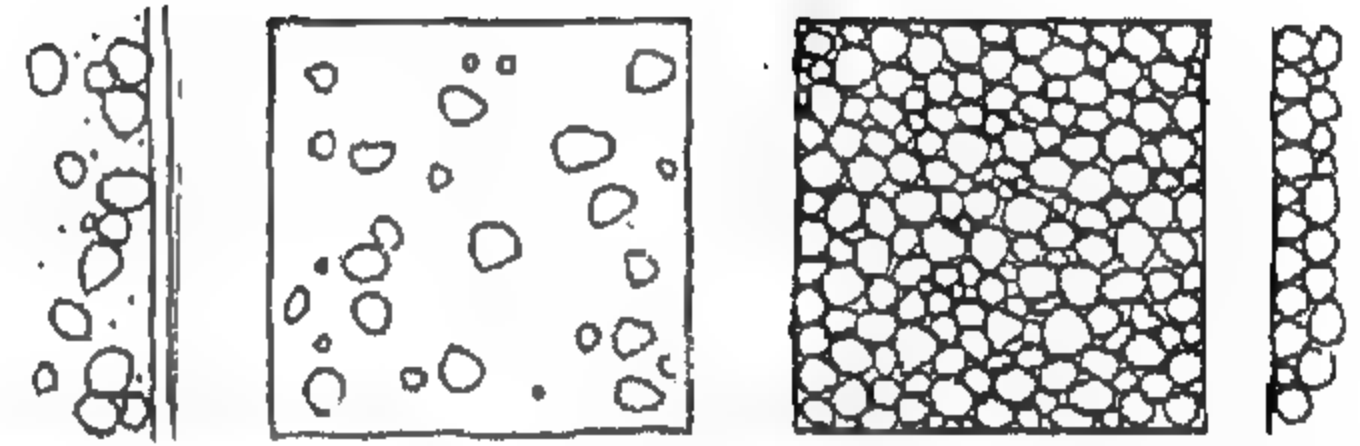




أسطح خرسانية مكشوفة الركام

(شكل ٤٨٥) مقارنة بين سطح خرساني عادي
معالج بالرمل المضغوط و سطح آخر بخرسانة
مضغوطة وركام متدرج الحجم - مثل
للخرسانة المضغوطة على شكل منحى .
(شكل ٤٨٦) أسطح خرسانية على طريقة
« نقل الركام » في مبنى محكمة كيومنج كارنبي
في وست بوينت بولاية نبراسكا .

شكل ٤٨٥



شكل ٤٨٦



شكل ٤٨٧

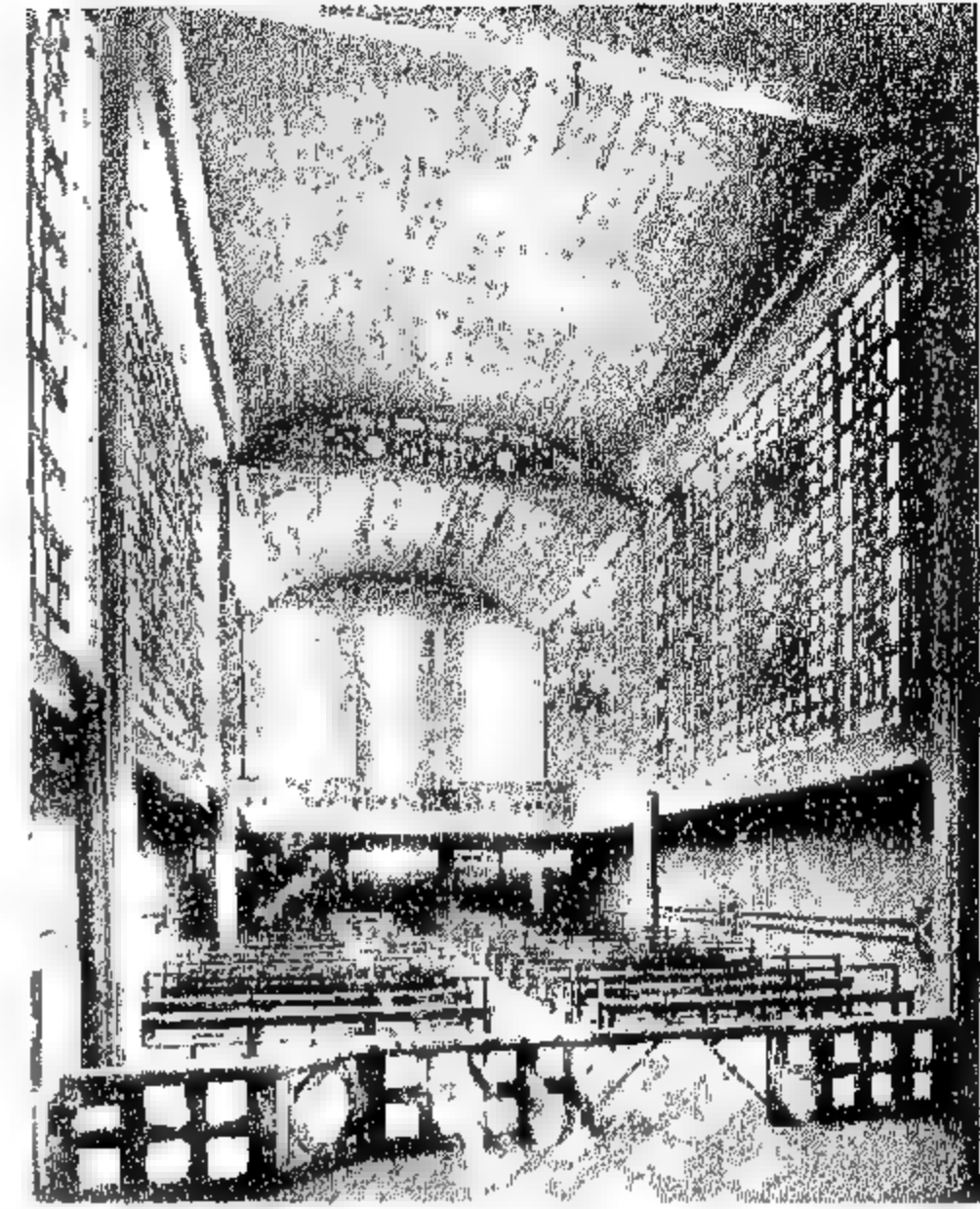
أسطح خرسانية مكشوفة

(شكل ٤٨٧) كنيسة سان جون في كوليدج فيل بولاية منسوتا
(المعمارى مارسيل بروير ١٨٥٣ - ١٩٦١) .
(شكل ٤٨٨) مبنى مجلة ريدرز دايجست بطوكيو (المعمارين ريموند وادو) .

شكل ٤٨٨



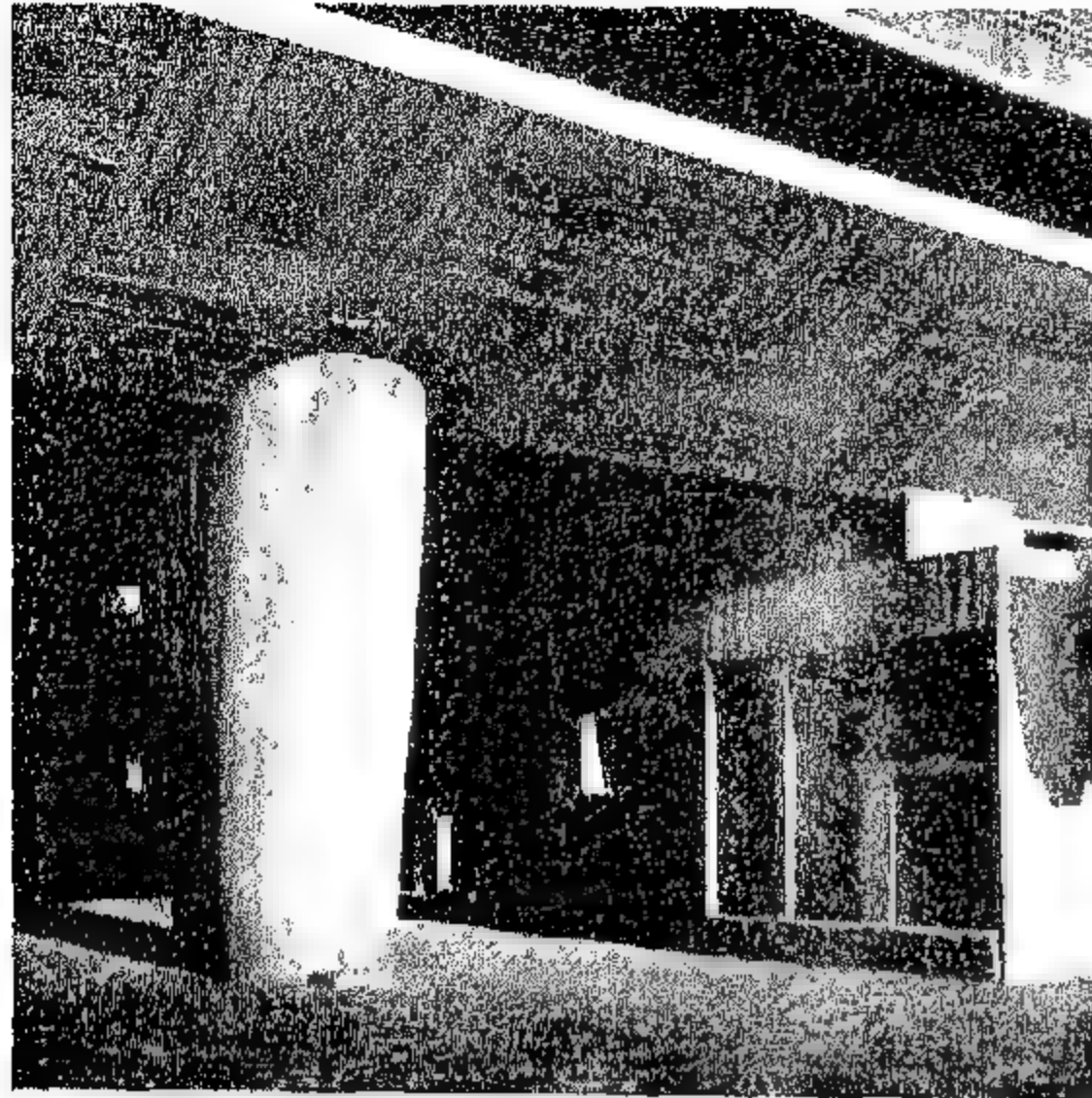
شكل ٤٨٩



شكل ٤٩٠



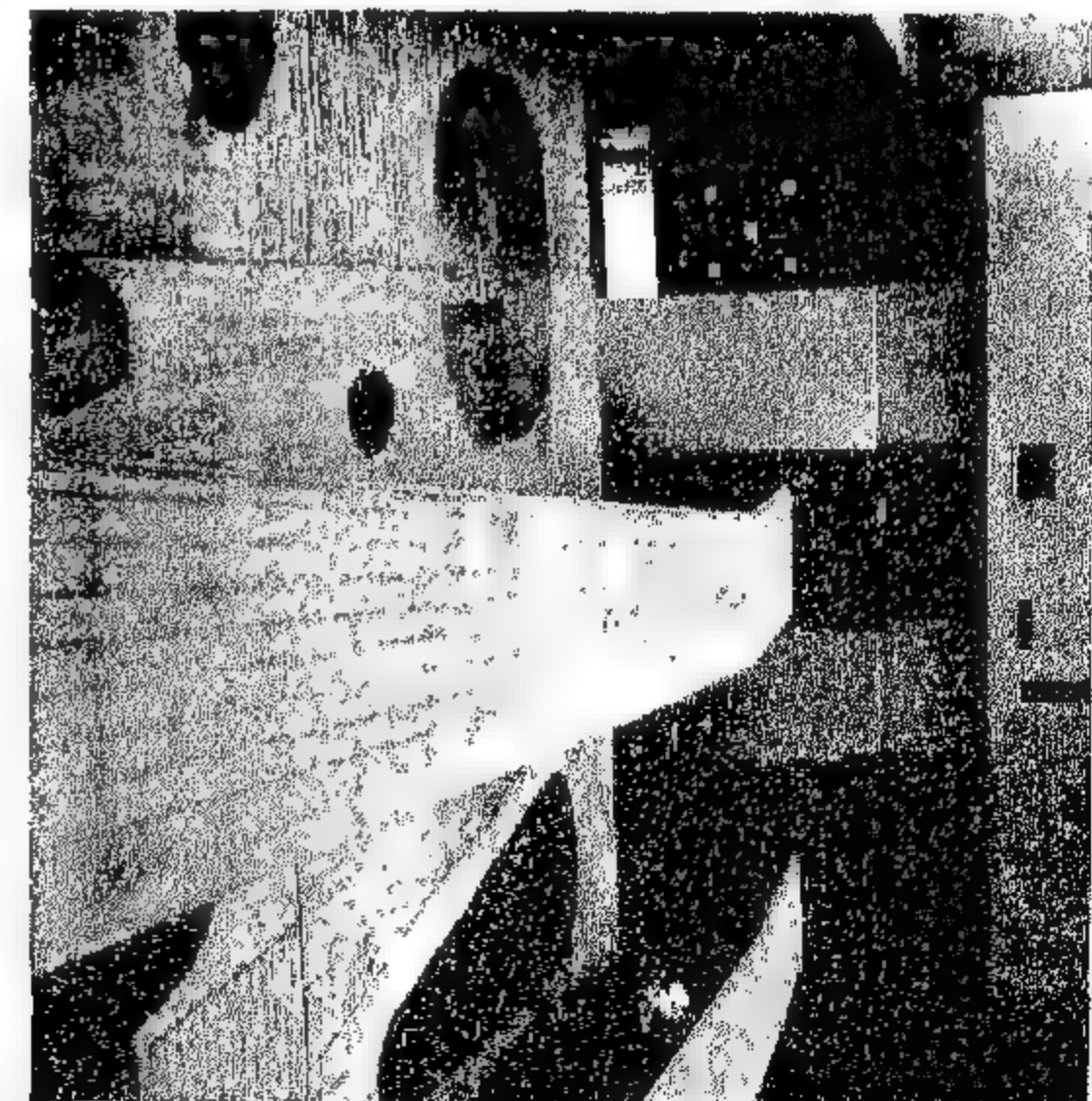
شكل ٤٩١



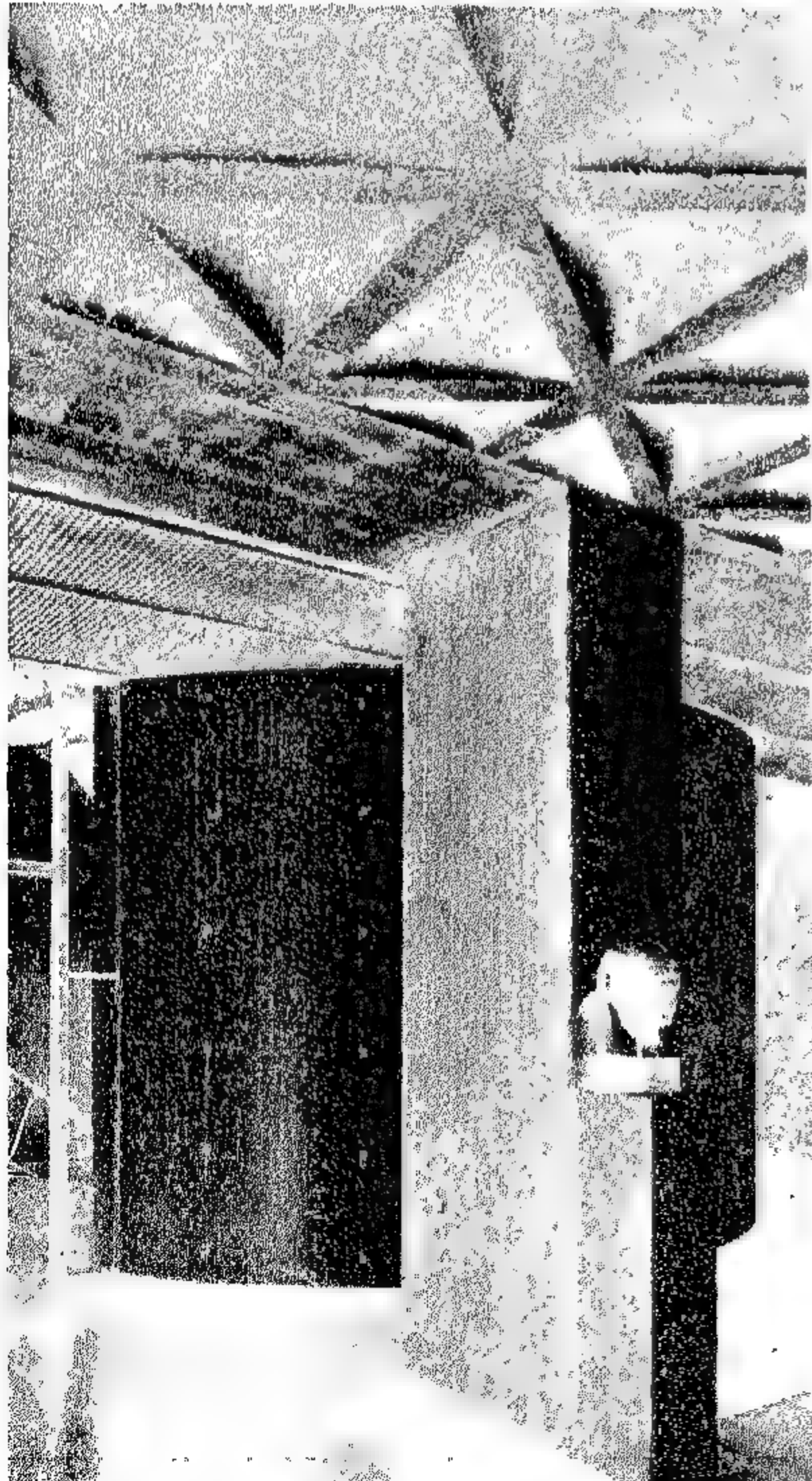
انطباعات الشدات على الأسطح الخرسانية

- (شكل ٤٨٩) كنيسة سانت تيريز بمونماني
بفرنسا (المهندس المعماري أوجست بيريه)
(شكل ٤٩٠) مبنى محطة القوى في سد نورس
بمشروع وادي نهر التنسي بأمريكا .
(شكل ٤٩١) الدور الأرضي بالمجموعة السكنية
ببرسيليا (المهندس لوكوربوزييه) .
(شكل ٤٩٢) المنحدر بمبنى المحكمة العليا
بشانديجاريا بالهند (المهندس لوكوربوزييه) .
(شكل ٤٩٣) مبنى استديوهات التصميم
بجامعة بيل (المهندس المعماري لويس كان) .

شكل ٤٩٢



شكل ٤٩٣





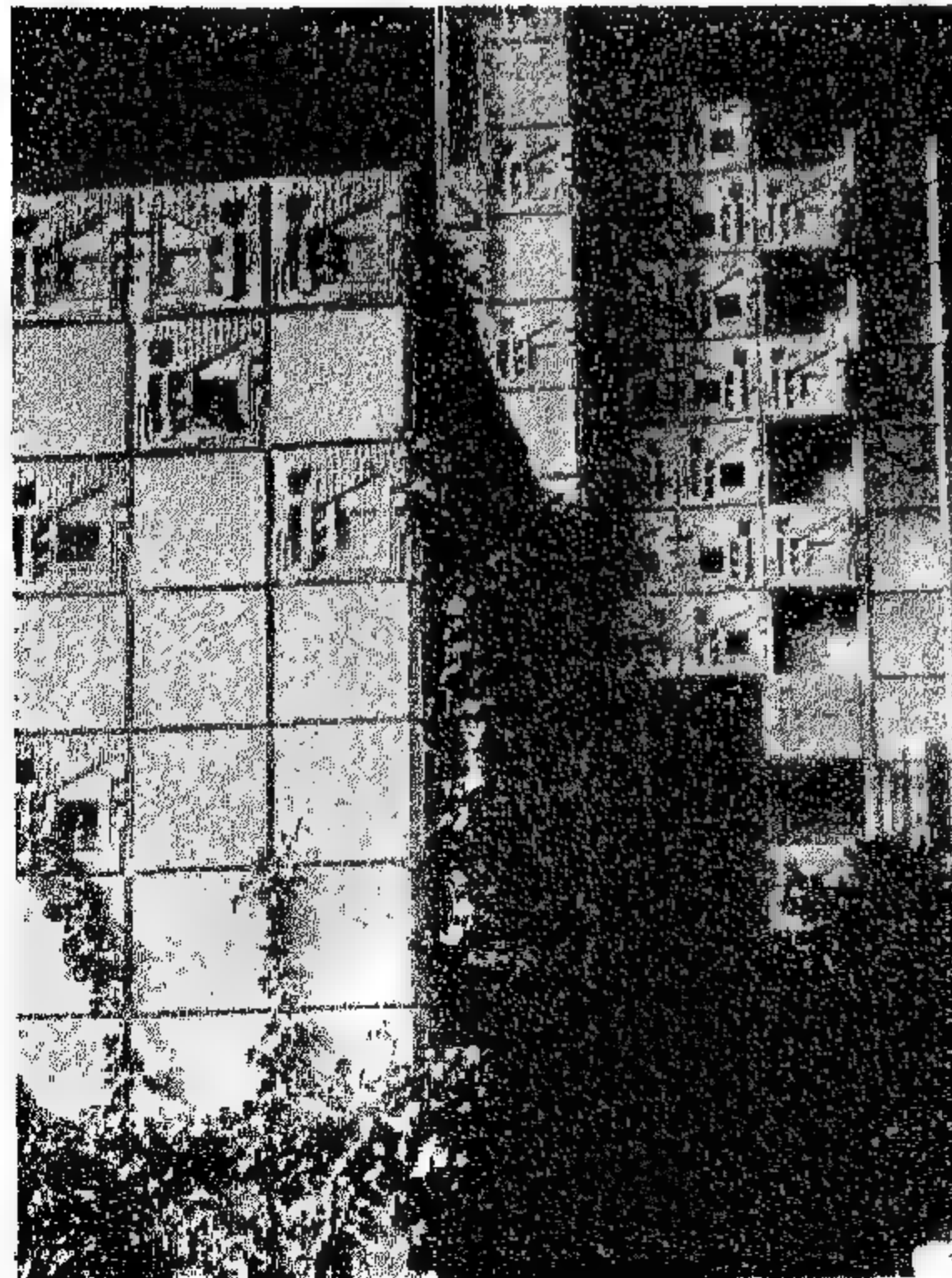
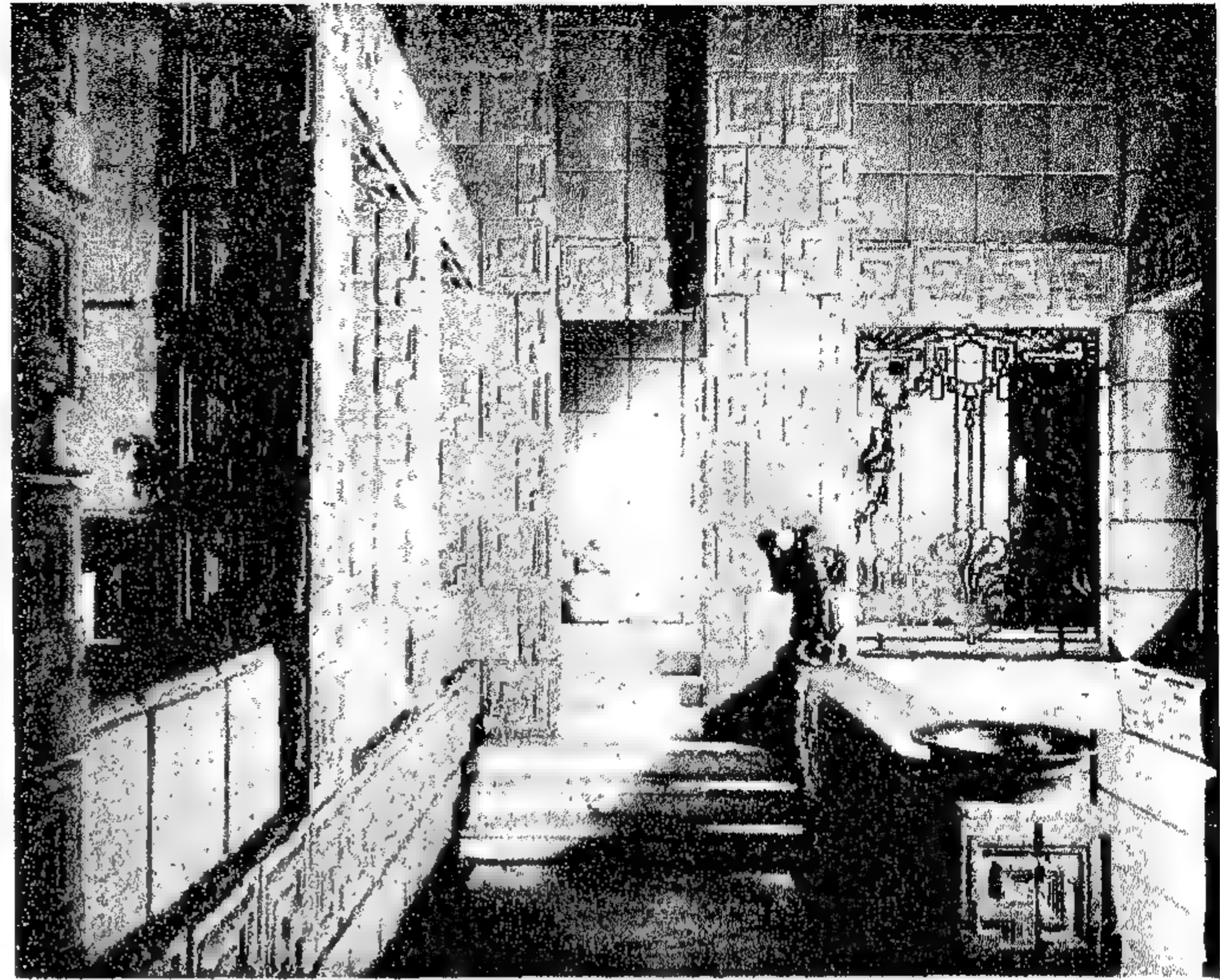
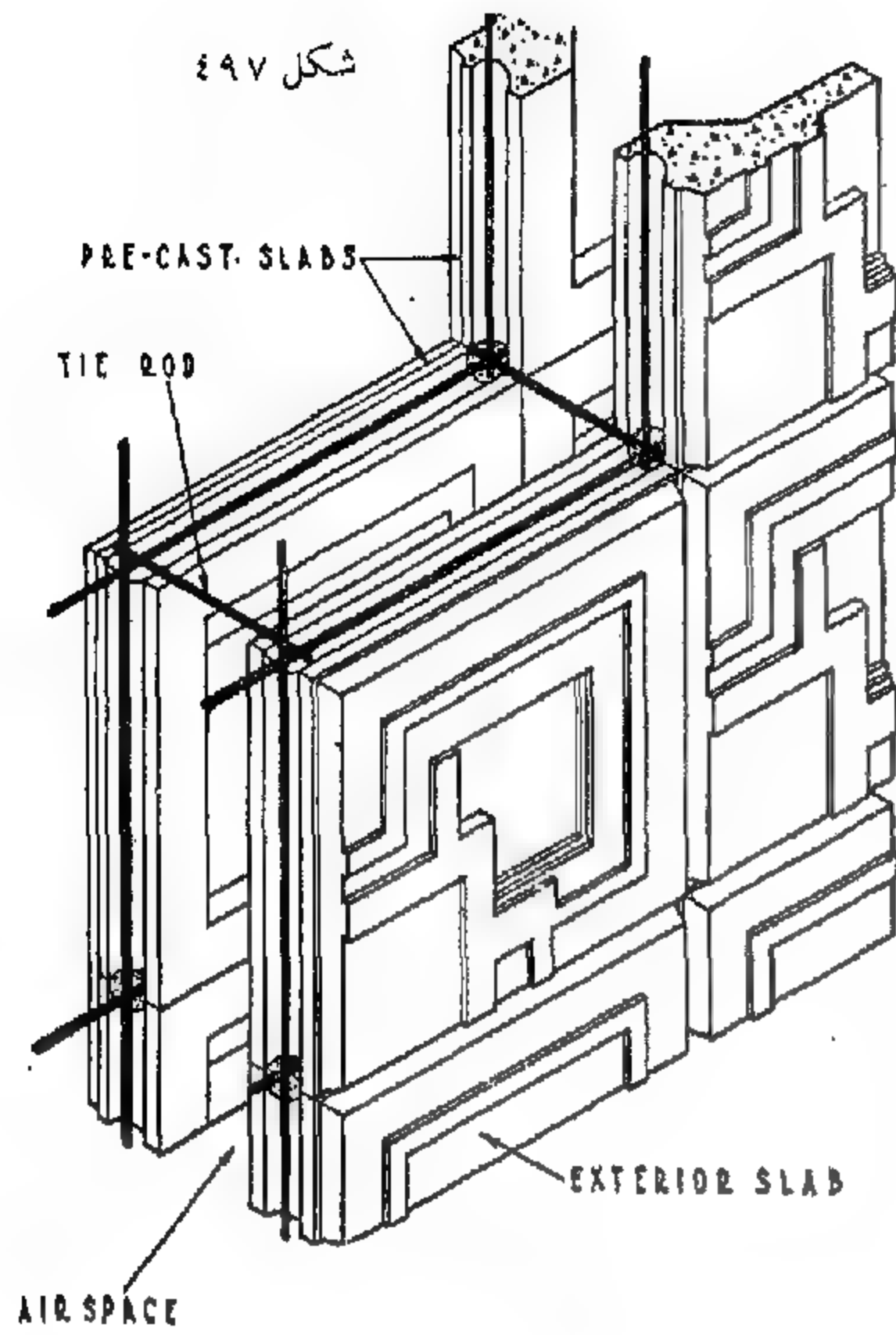
شكل ٩٤:

أسطح خرسانية بركام مكشوف

(شكل ٤٩٤) أسطح خرسانية بأحجار ذات أحجام متباينة في المقر الغربي لفرانك لويد رايت — تاليسن الغرب .

(شكل ٤٩٥) كنيسة الصليب المقدس في سيدونا بأريزونا (المهندس المناريان أنشئ وأن) .





بلوكات خرسانية زخرفية —

فرانك لويد رايت

(شكل ٤٩٦) استعمال رايت البلوكات

الخرسانية كسطح داخلي نهائي .

(شكل ٤٩٧) منزل مايارد بياسادينا

بكاليفورنيا — واجهة المنزل

المطلّة على البحيرة الصناعية .

(شكل ٤٩٨) منزل شارلز اينس

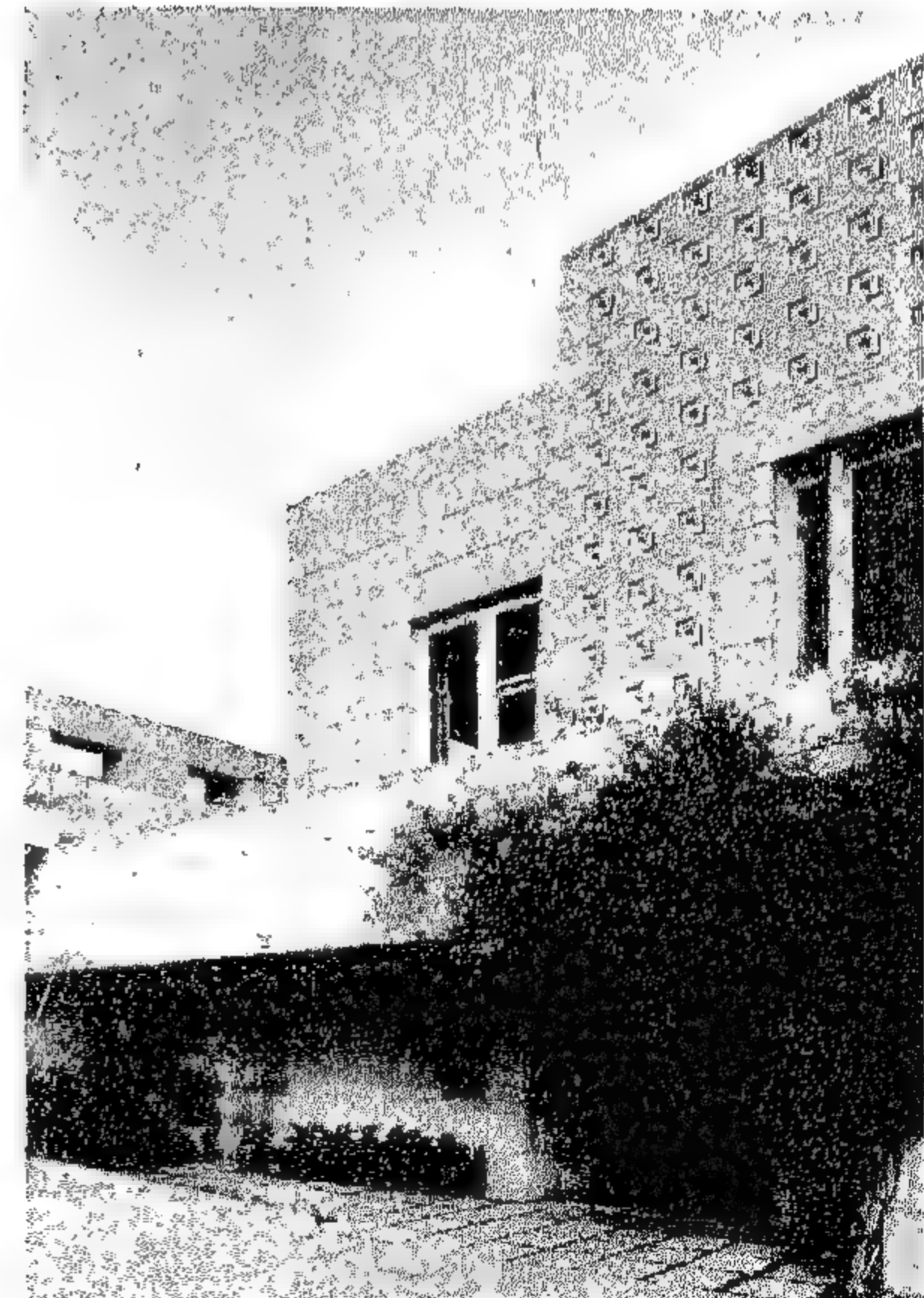
بلوس أنجلوس ، صنعت بلوكاته

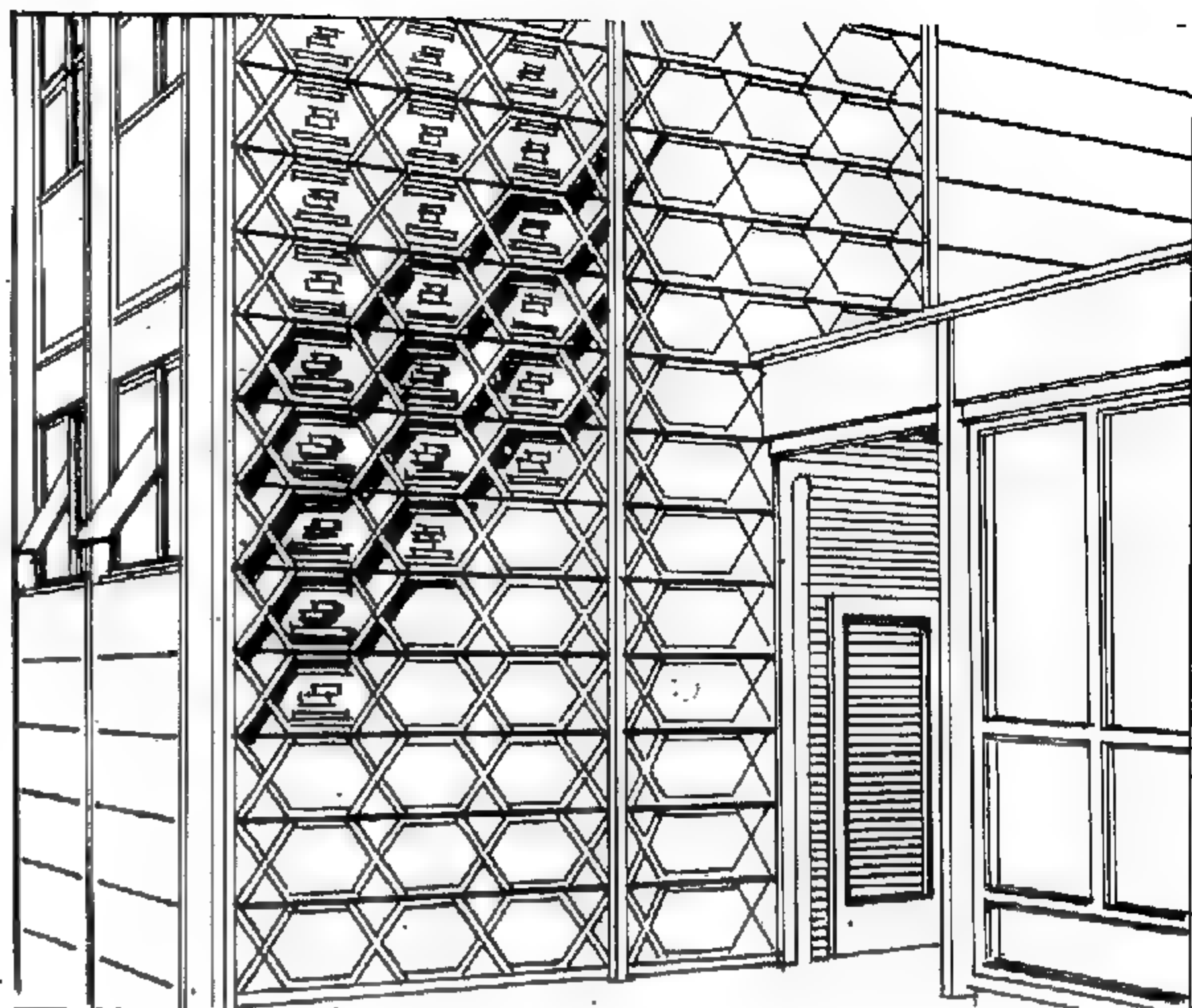
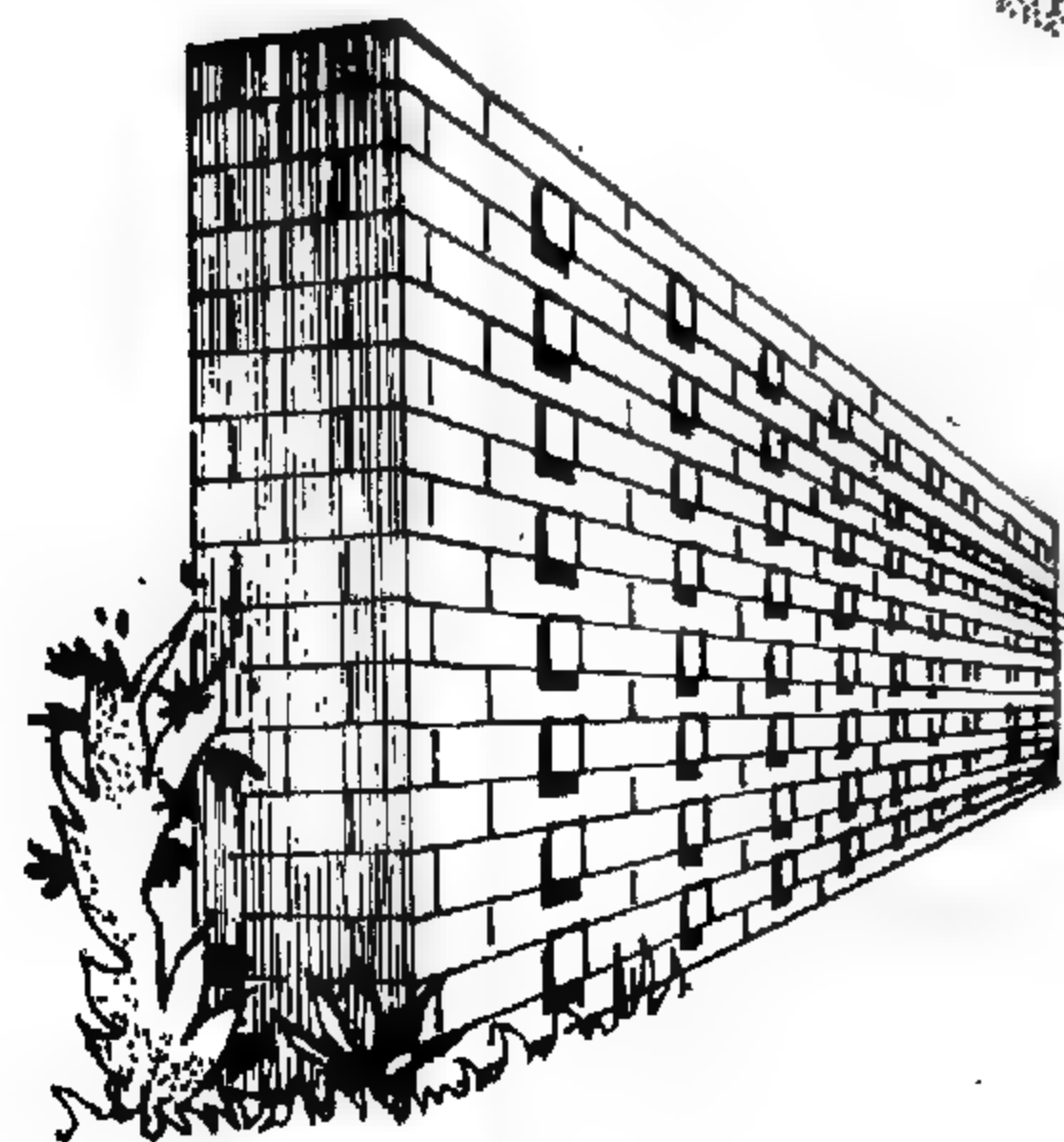
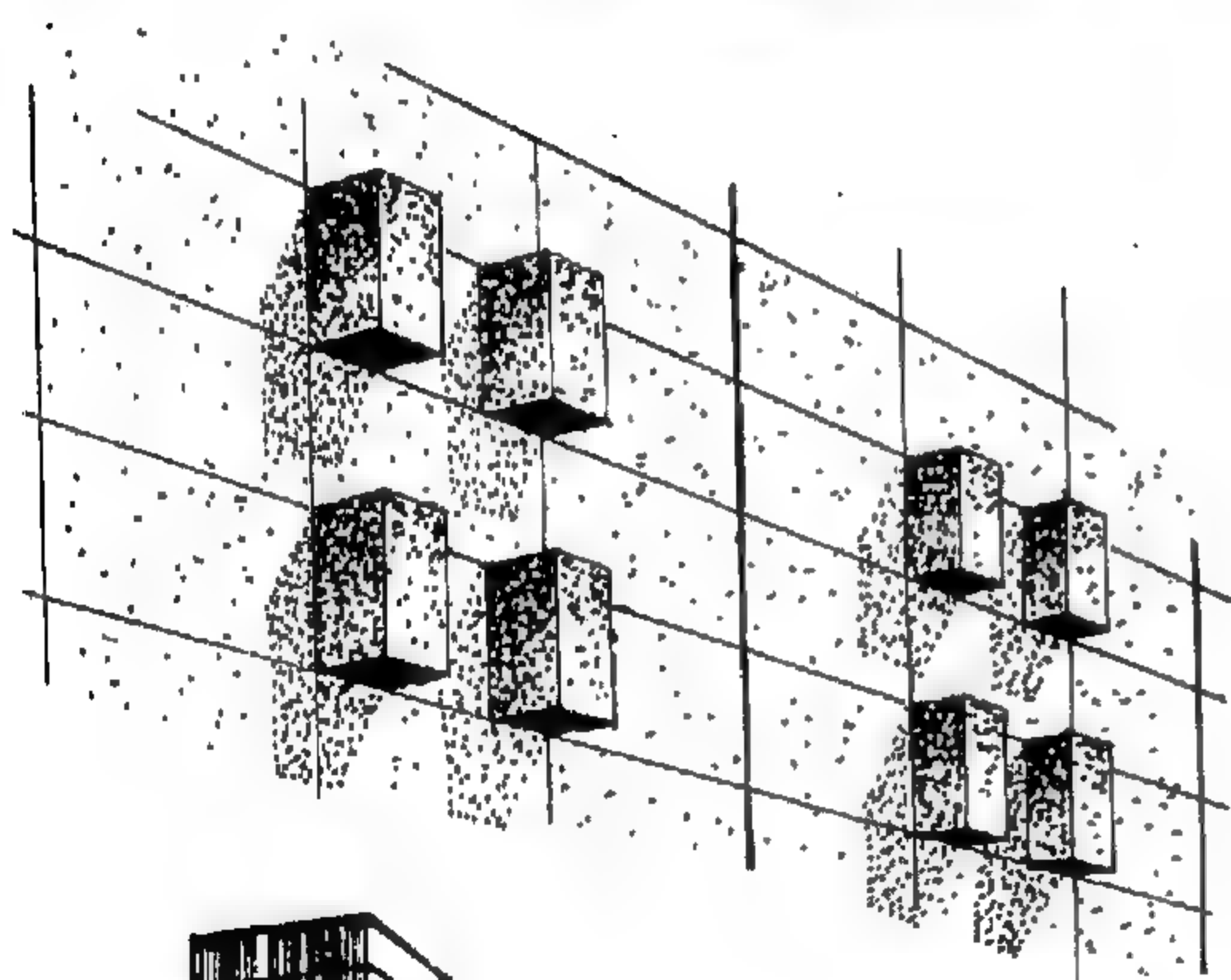
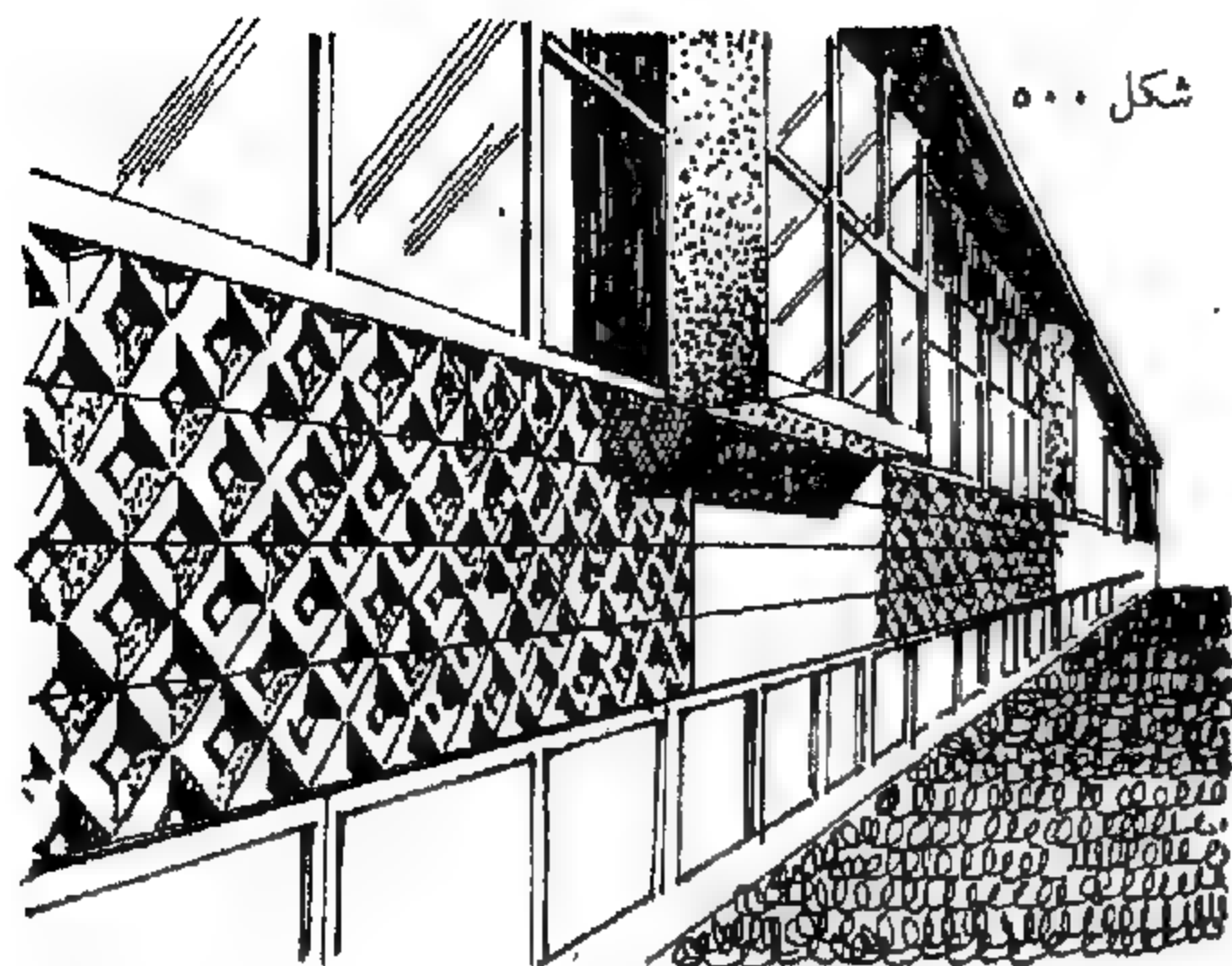
من ركام الجرانيت والأسمنت

الأبيض .

(شكل ٤٩٩) منزل فريمان هوليد

بكاليفورنيا .





شكل ٥٠١

بلوكات خرسانية زخرفية

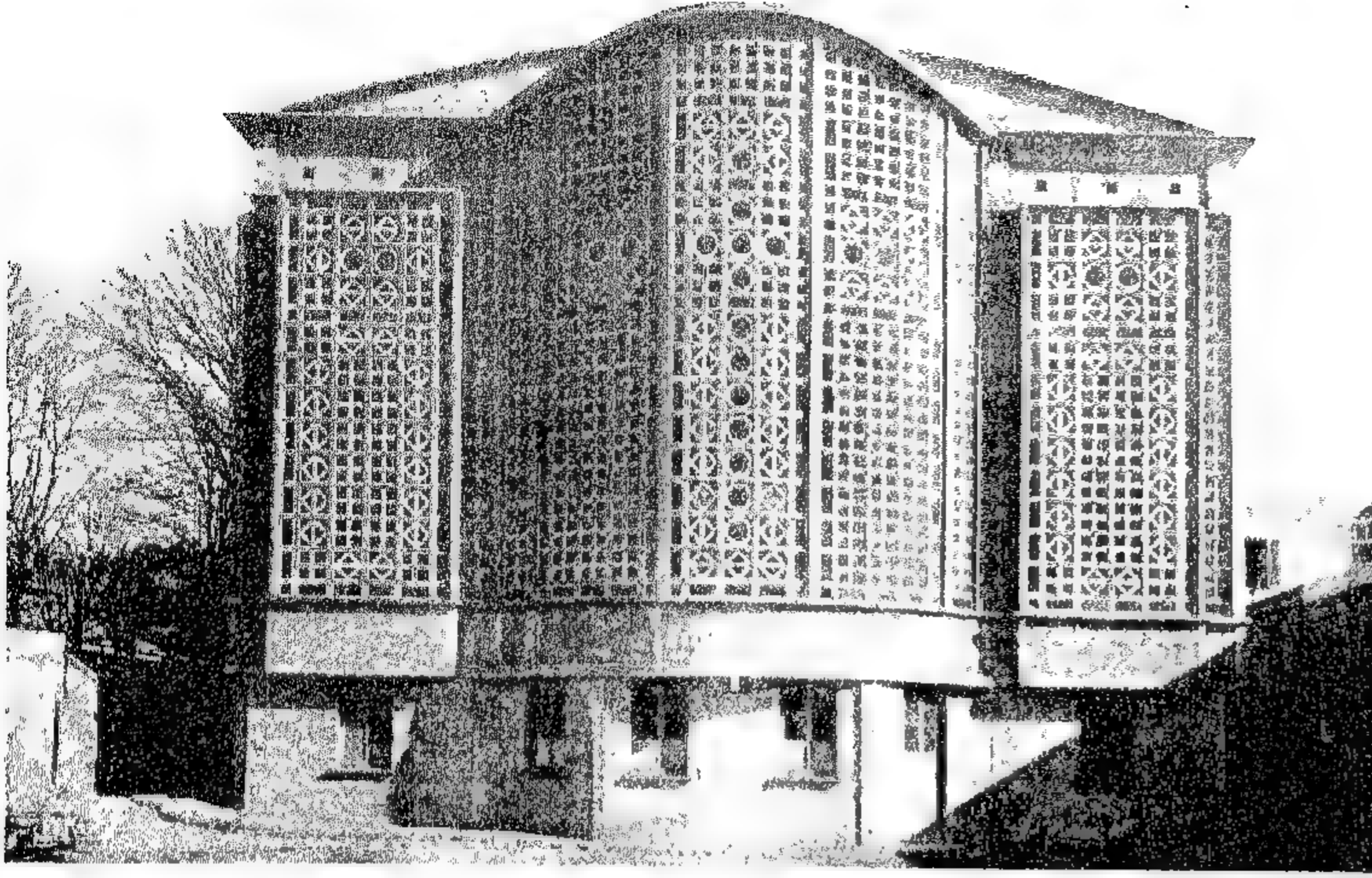
(شكل ٥٠٠) بلوكات خرسانية على هيئة أهرامات مقلوبة في مدرسة أبسوتش في كاسل

هل بإنجلترا (المهندسون جون وشلاير وهوارد) .

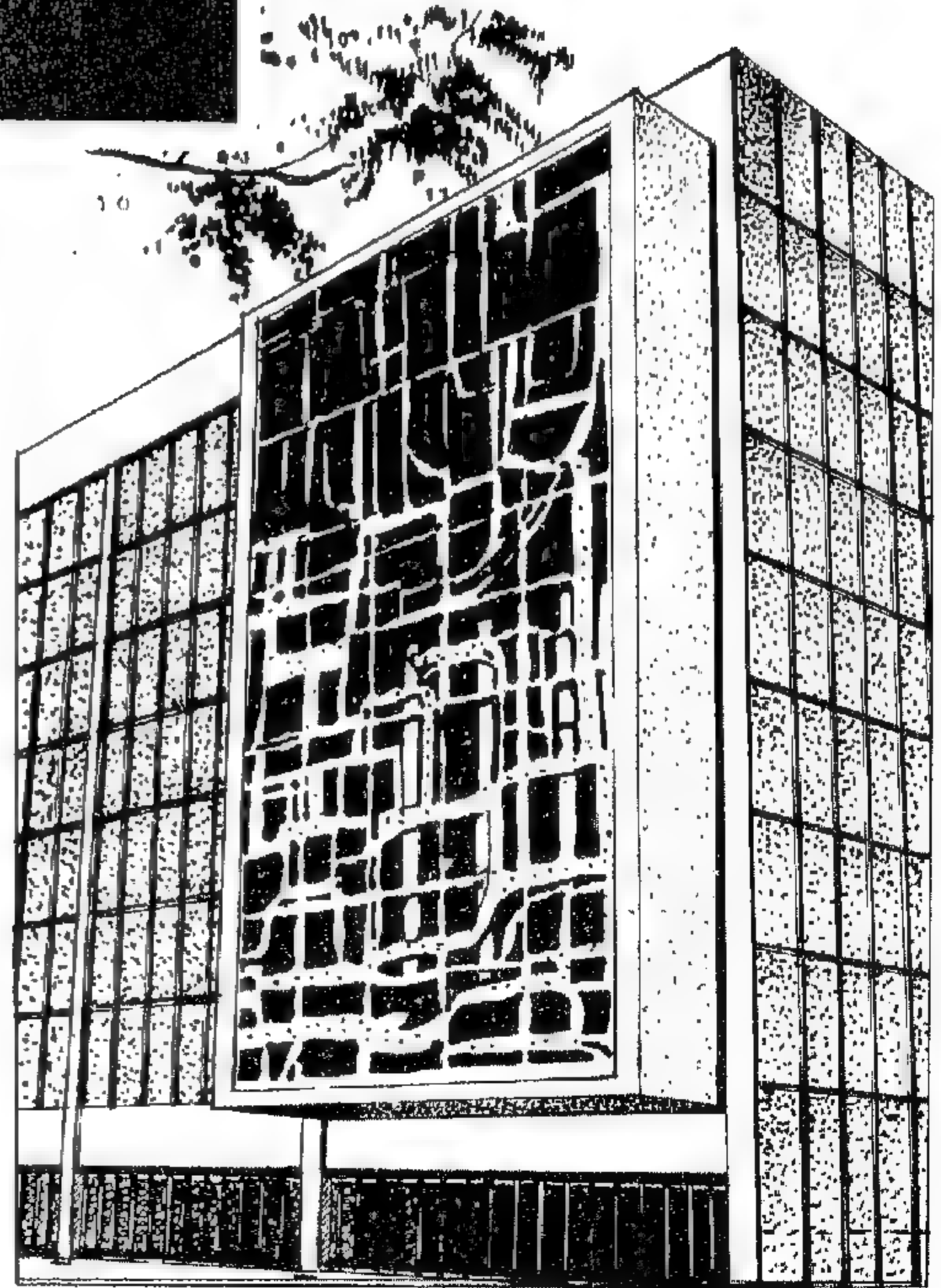
(شكل ٥٠١) مسدسات متداخلة في بلوكات خرسانية فاتحة اللون في مدرسة أبسوتش الثانوية

(شكل ٥٠٢) بلوكات خرسانية منتظمة في توزيعات الظل والنور جاهزة تحت الطلب في أمريكا

شكل ٥٠٣

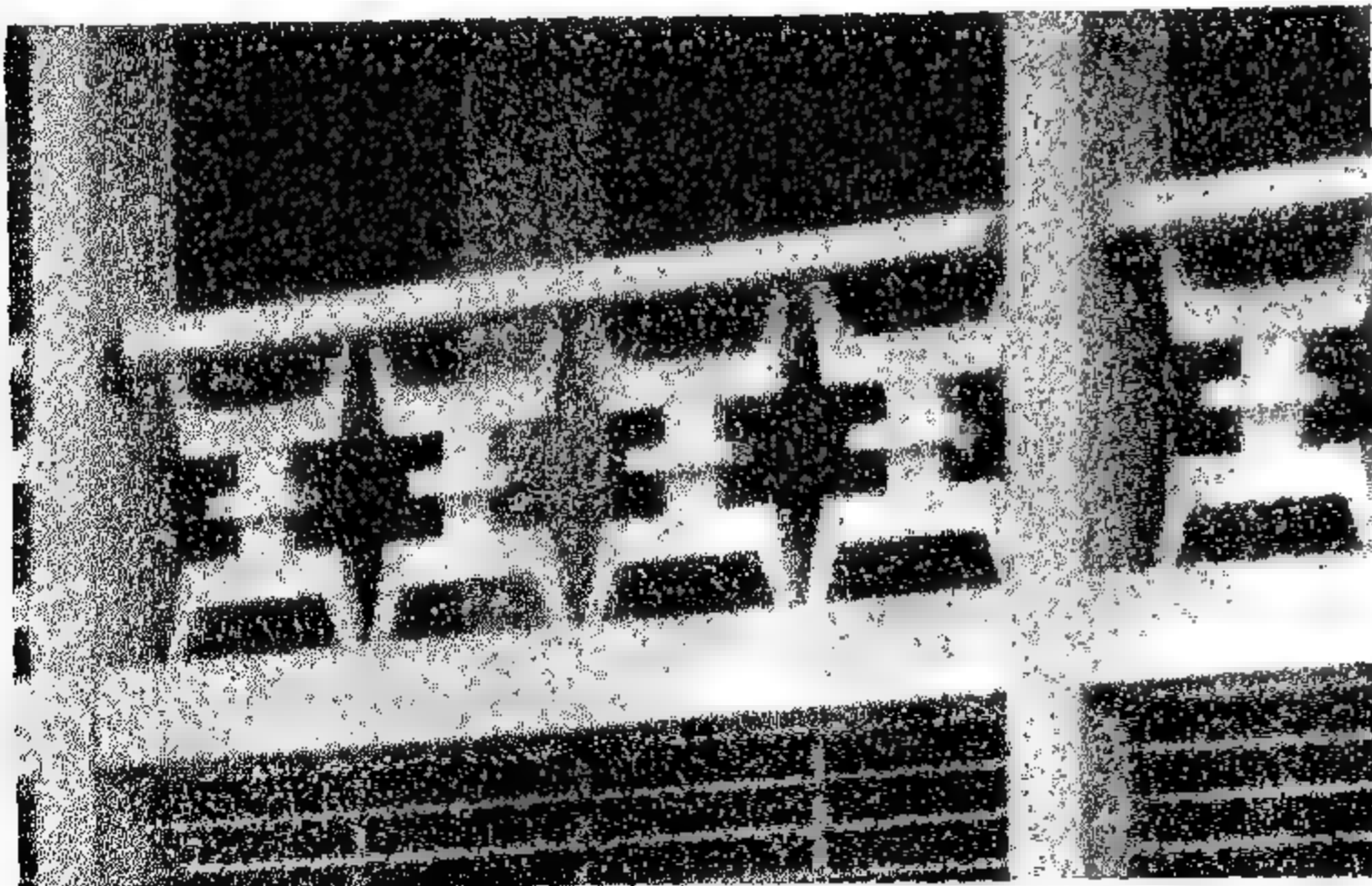
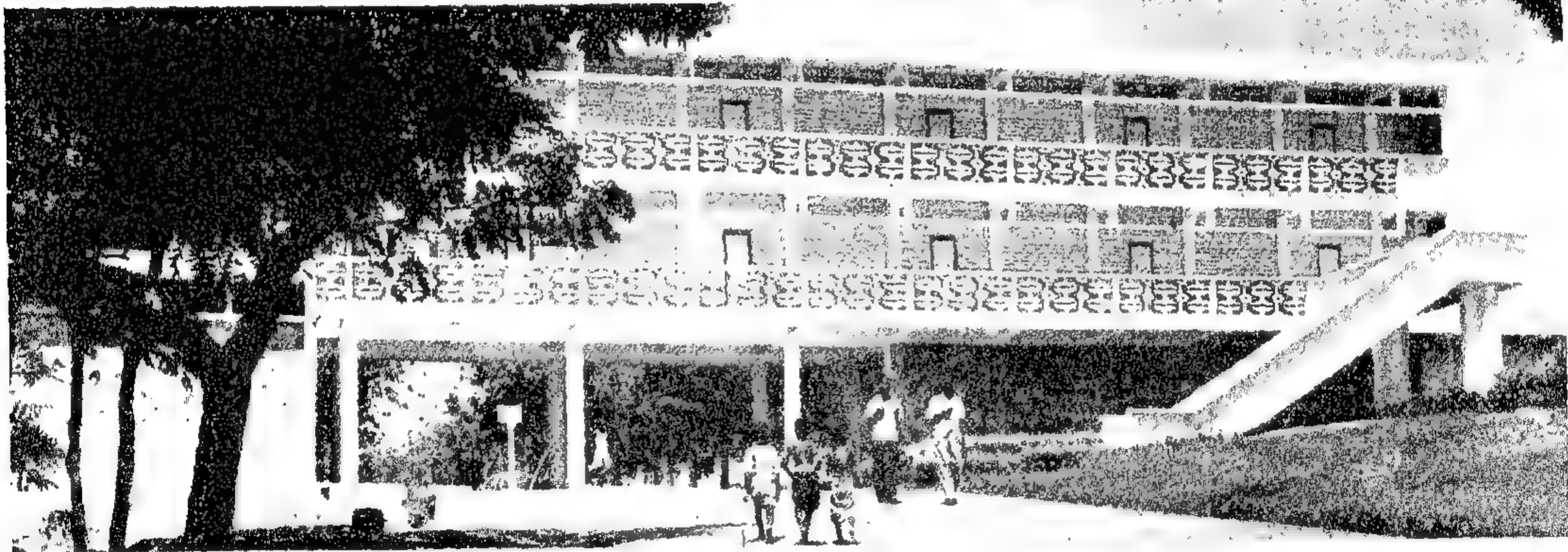
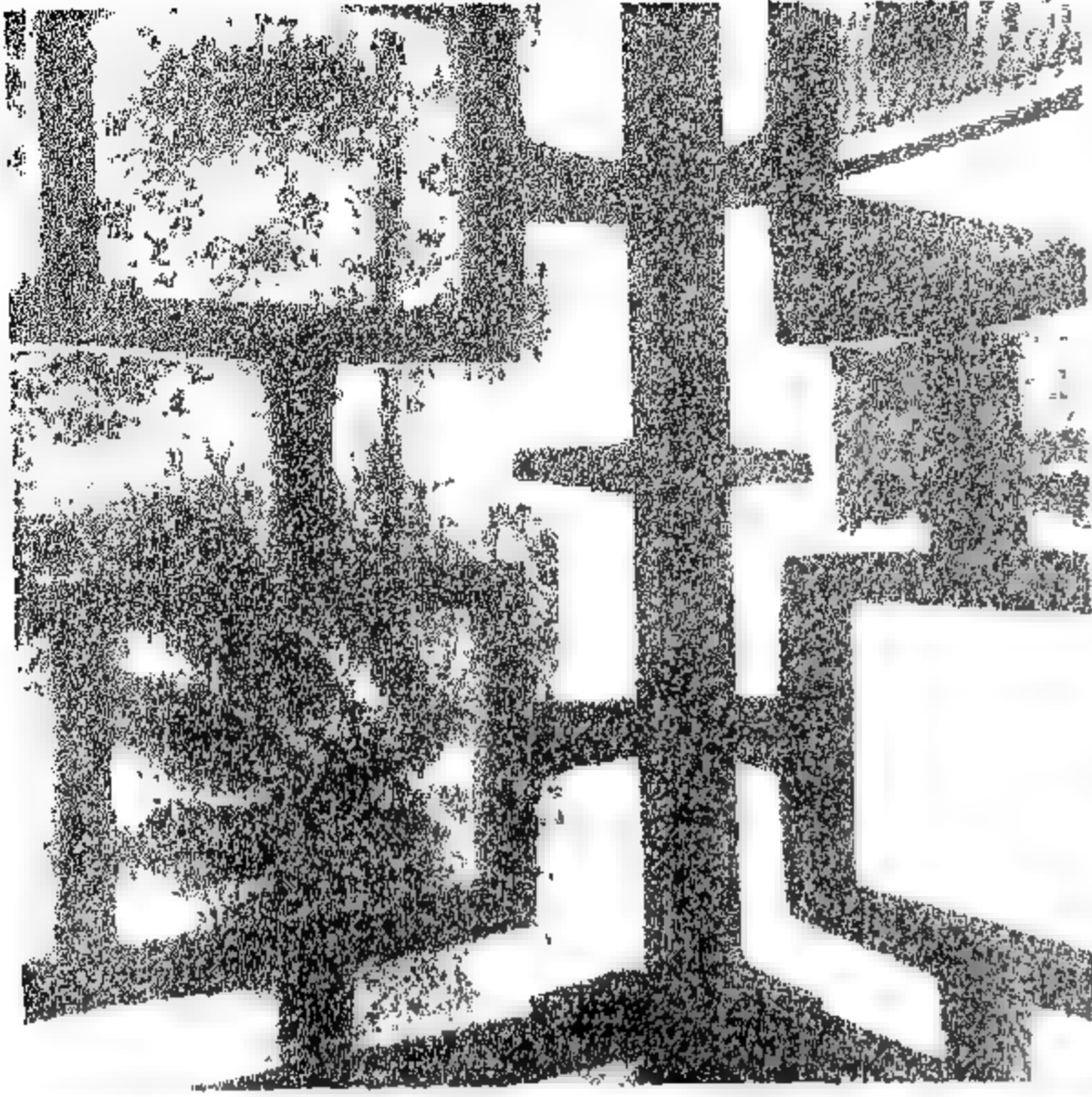
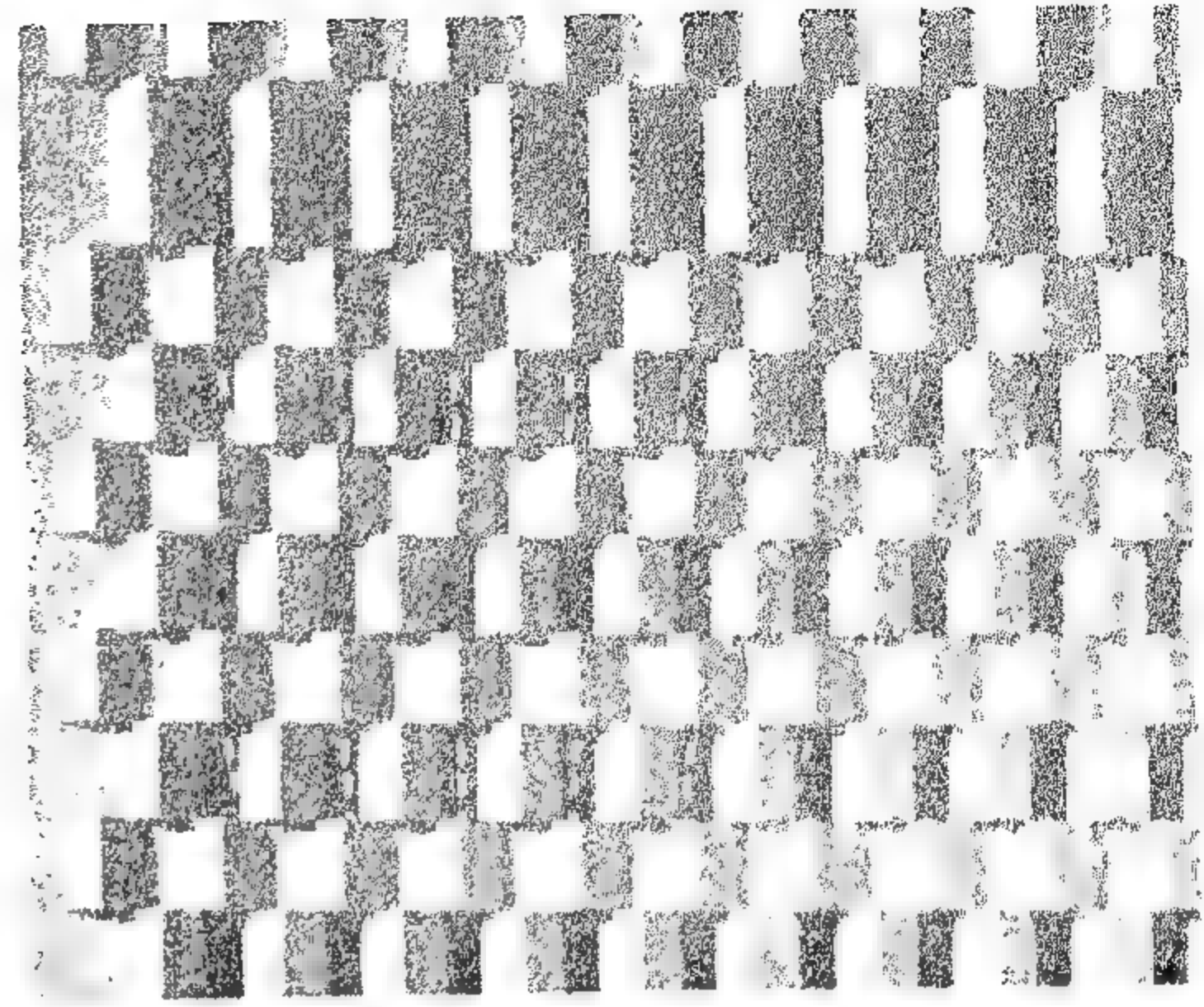


شكل ٥٠٤



محرومات خرسانية زخرفية

- (٥٠٣) واجهة خلفية لكنيسة نوتردام لورانس بباريس - المهندس المعماري أوجست بيريه .
(٥٠٤) شبك خرساني زجاجي في كنيسة سانت جان د'ارك في بلفورت بفرنسا (المهندس
موريس لودز .



مخرمات خرسانية زخرفية

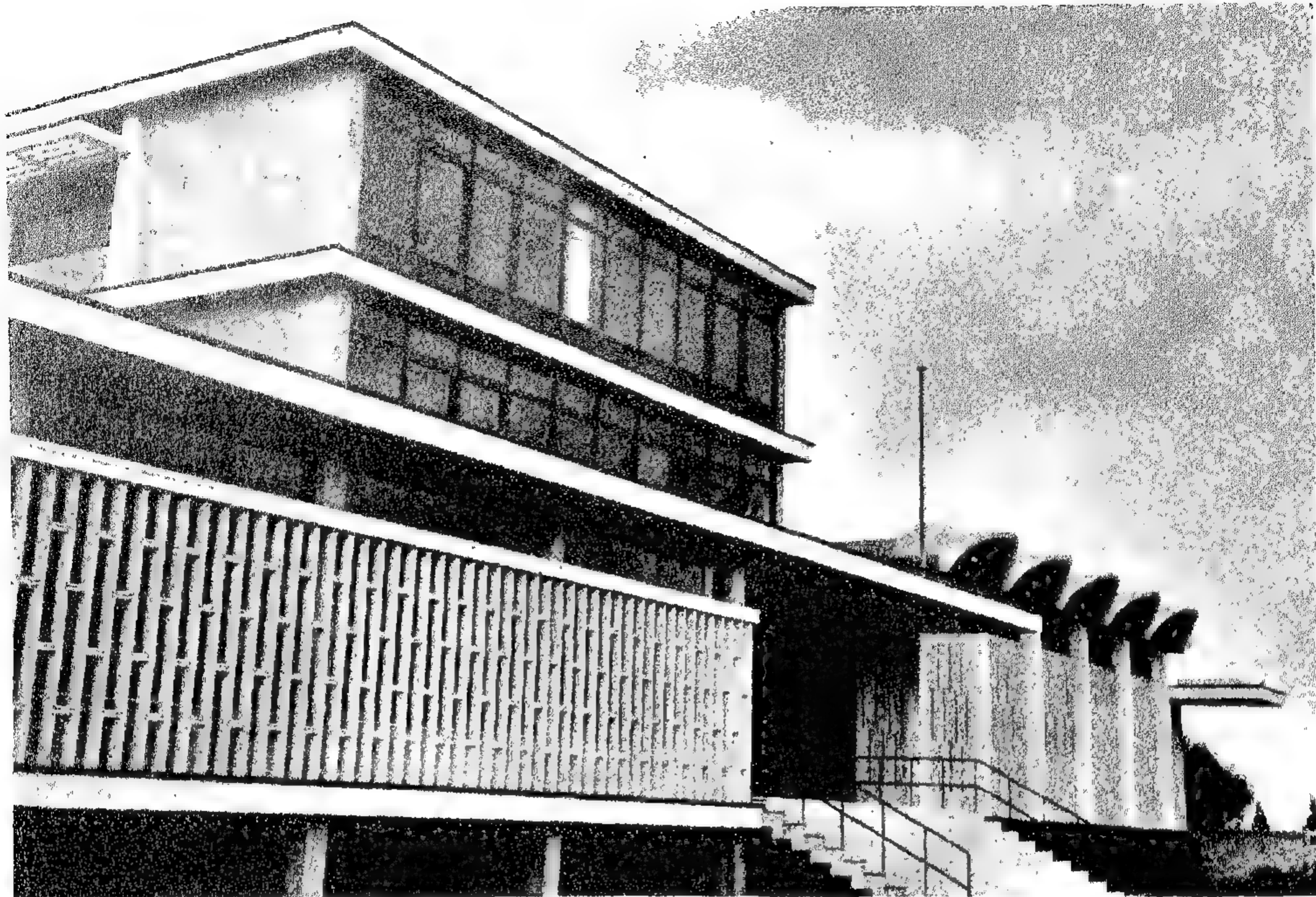
(٥٠٥) بلوكات انتفاعية زخرفية جاهزة في واجهات مبنى بنك واشوقيا في شارلوت بكارولينا الشمالية (المهندسون المعماريون هاريسون وأبرماثيتز سنة ١٩٥٧ - ٥٨).

(٥٠٦) واجهات شبكية أمام مكتبة جامعة أبادا بنيجيريا (المهندسون المعماريون (فراي-درو ودريلك ولازدن).

(٥٠٧) مدرسة أبوكو وير الثانوية في كومازي بغانا - تفصيلات لسور البلكونات.

(٥٠٨) مبنى مساكن الطلبة في مدرسة مفانتسييم الثانوية في كيب كوست بغانا.

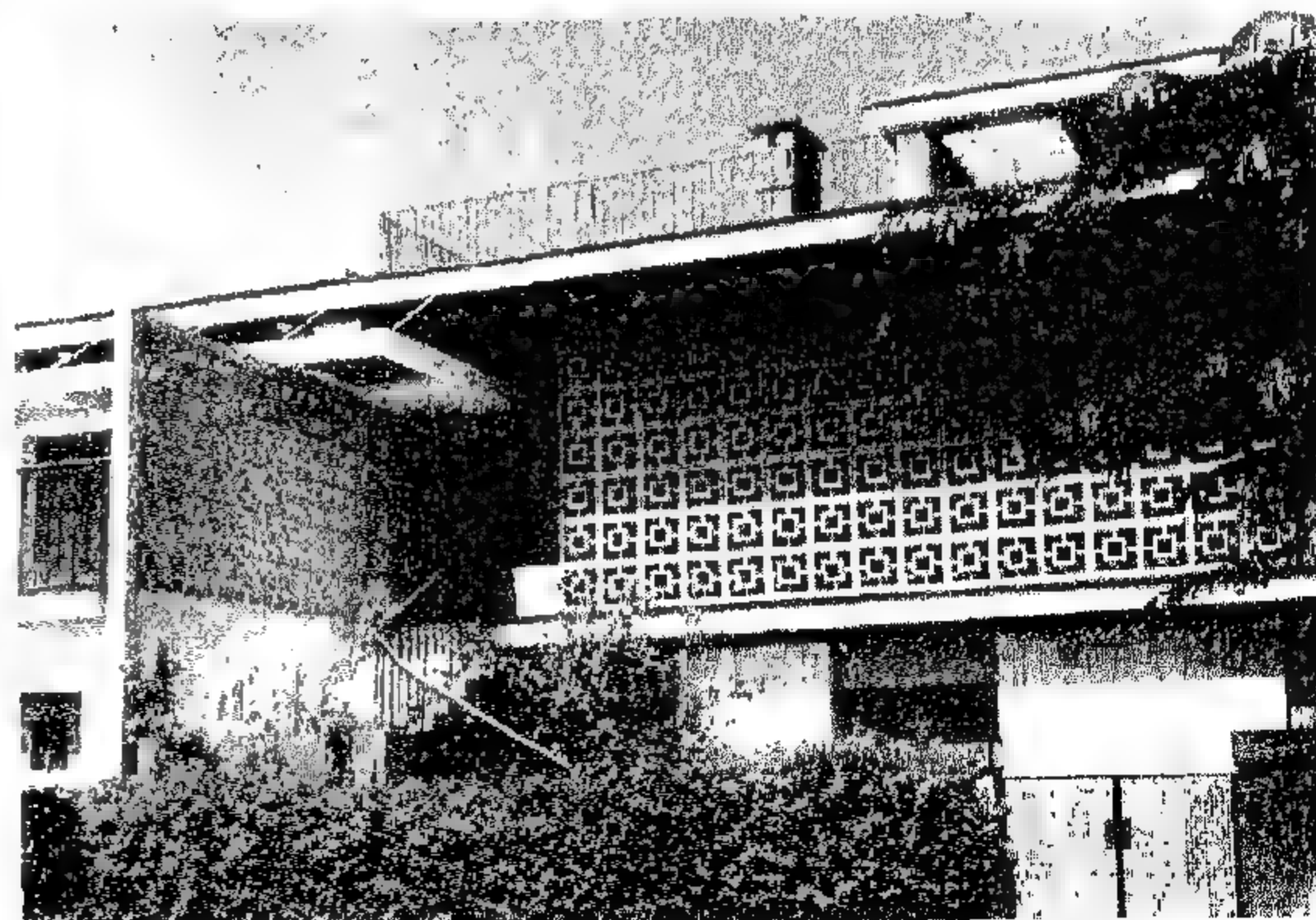
شکل ۵۰۹

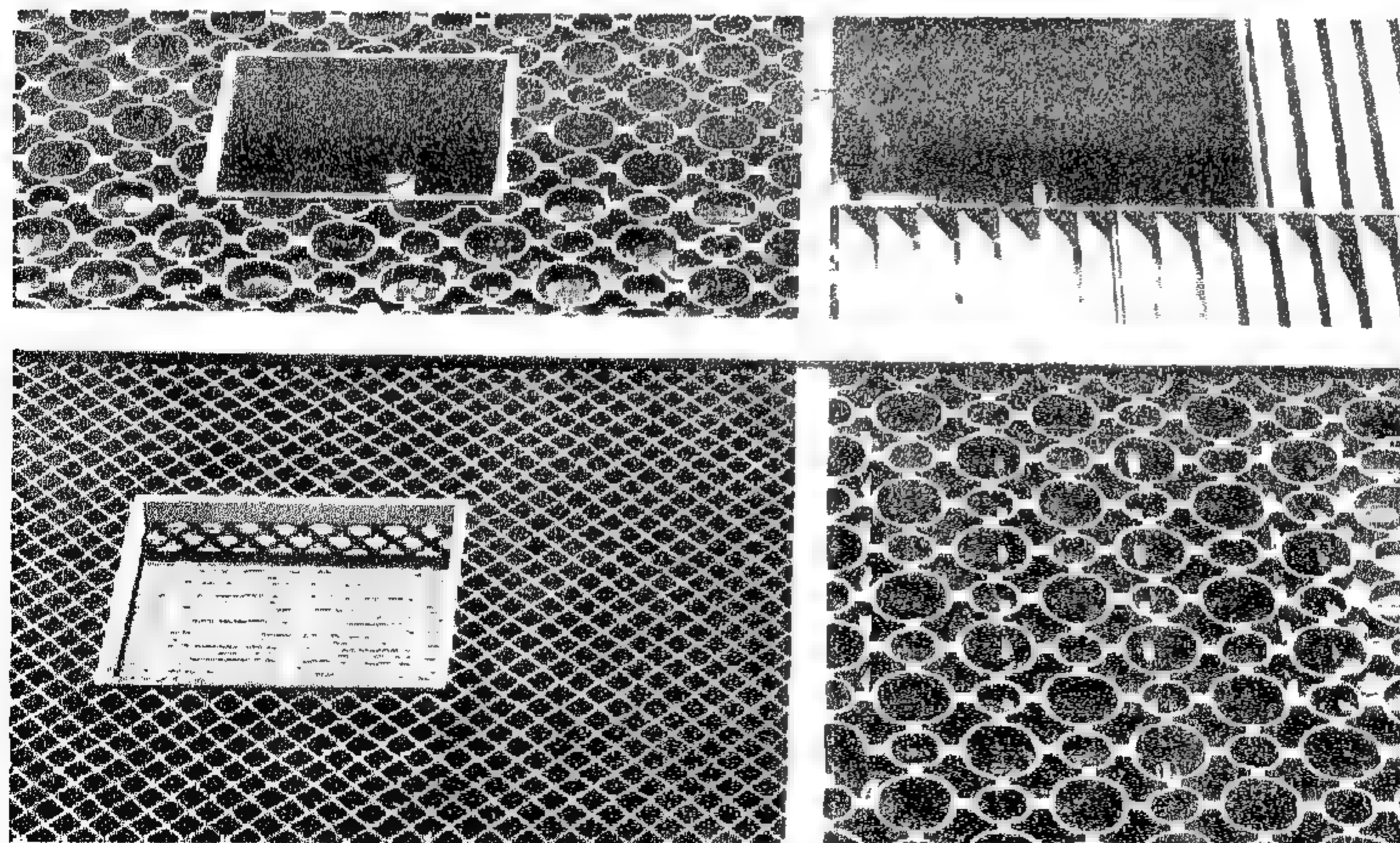
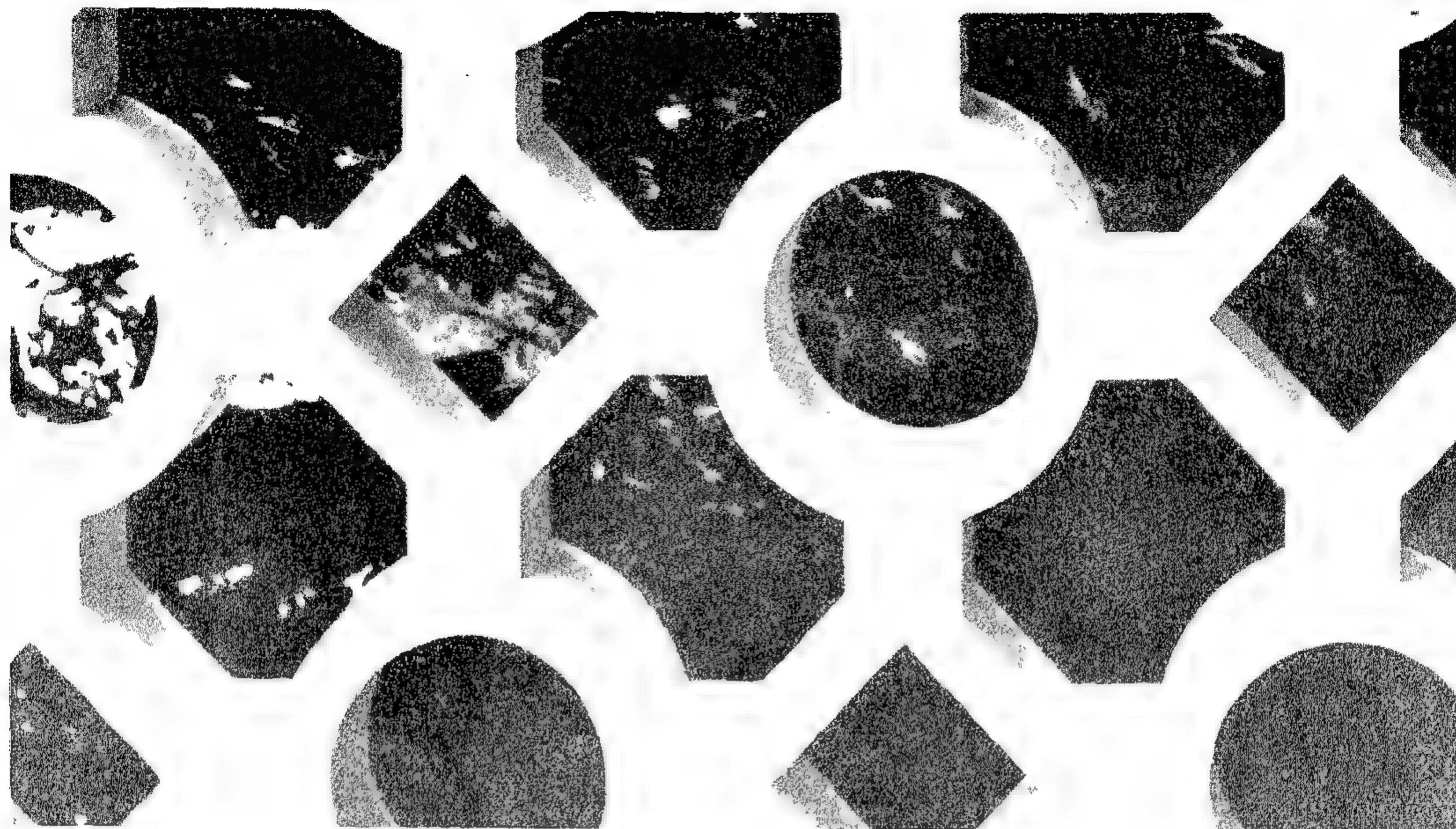


شکل ۵۱۱



شکل ۵۱۰





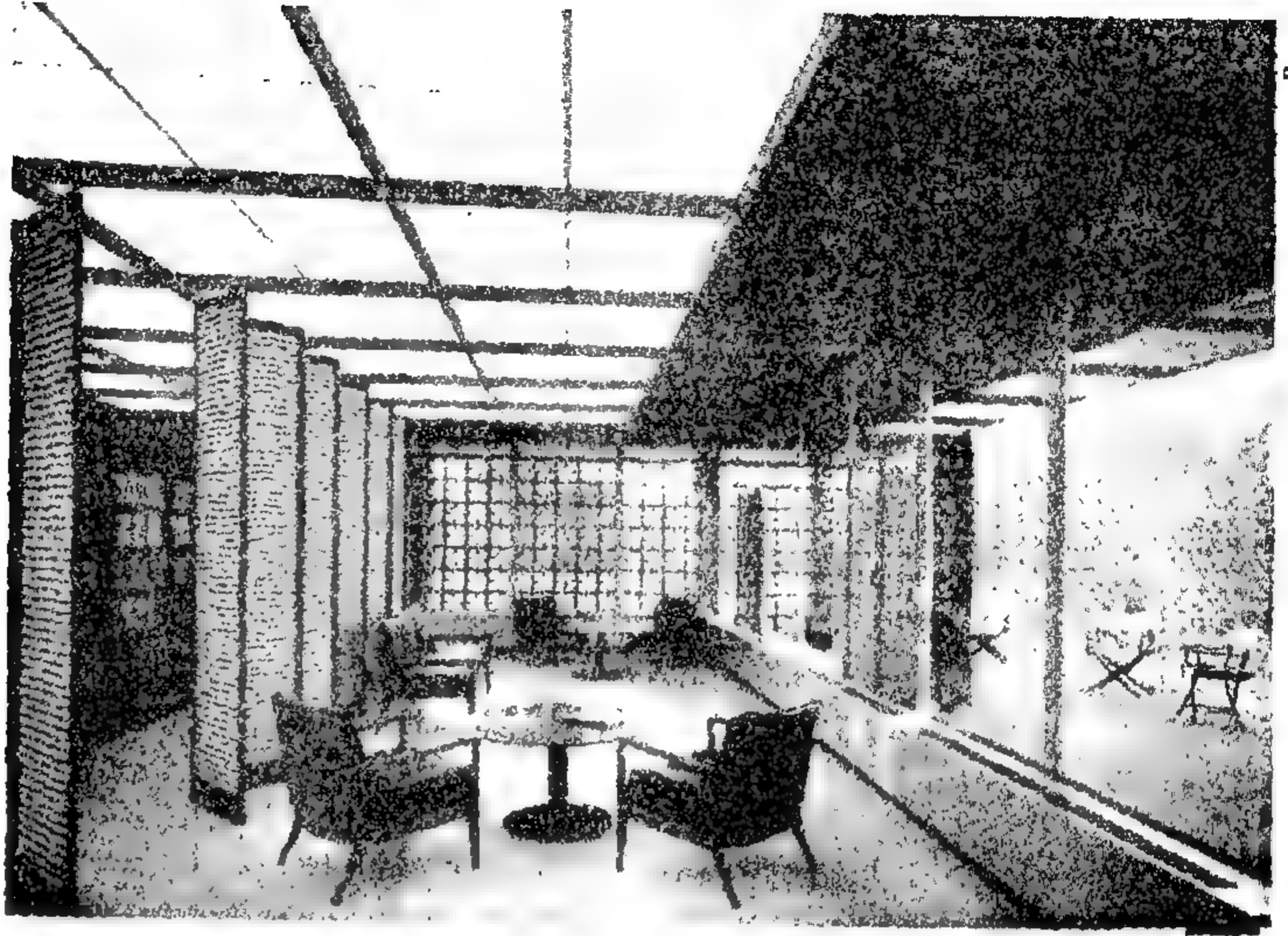
شكل ٥١٣

مخمرات خرسانية زخرفية

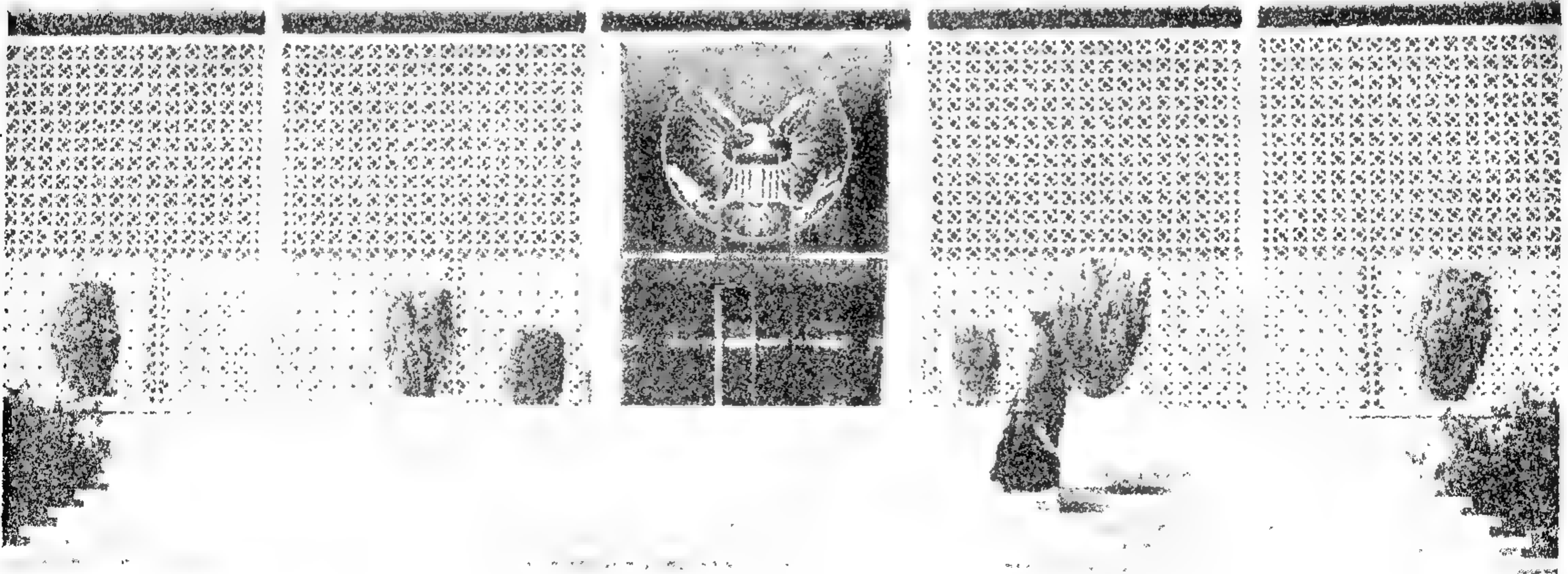
(شكل ٥٠٩) المركز القومى للبحوث الاجتماعية
والجنائية بالقاهرة (المهندس المعماري
دكتور عل زافت سنة ١٩٦٠) .
(شكل ٥١٠) فيلا المهندس فؤاد شلي
بالقاهرة - واجهة .
(شكل ٥١١) منظور من الفناء الداخلى بالفيلا .

مخمرات خرسانية زخرفية

(شكل ٥١٢) حاجز زخرفى فى منزل سال
وكامبوس بريدو دى جانيرو .
(شكل ٥١٣) تفاصيل فى حواجز التراسات
فى عمارات باركي كوينتا فى ريدو دى
جانيرو بالبرازيل (المهندس المعماري
لوسيو كوستا)

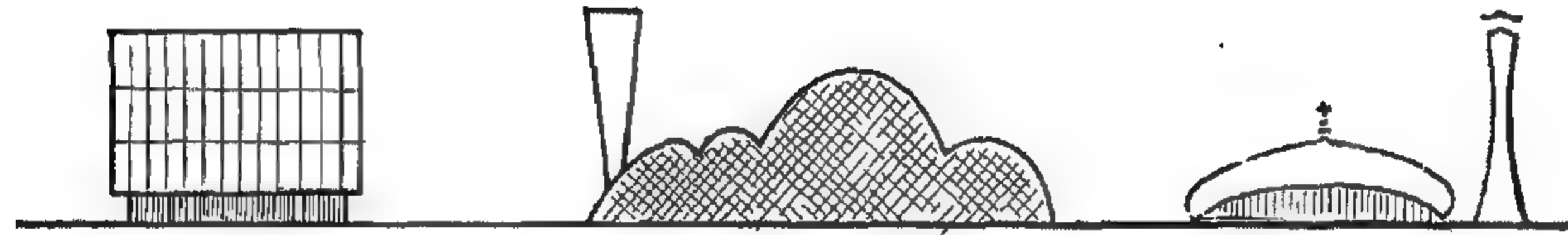


محرمات خرسانية زخرفية - المهندس إدوارد ستون
(شكل ٥١٤) منظور داخل المكتبة الرئيسية في بالواتو
بكاليفورنيا.
(شكل ٥١٥) السفارة الأمريكية في نيودلهي - واجهة
أمامية.

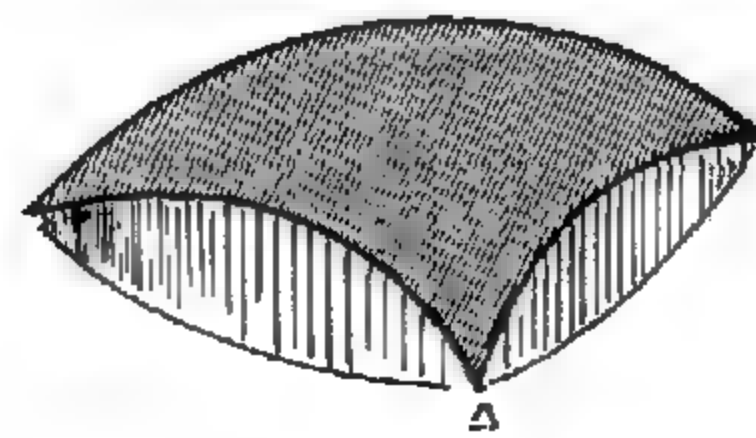
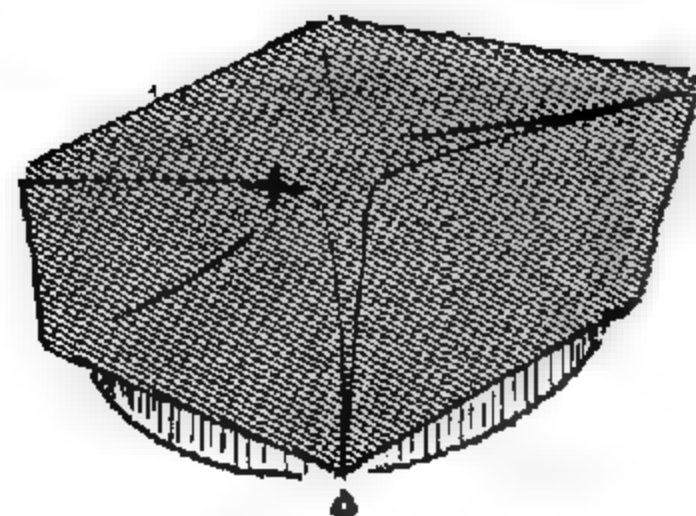




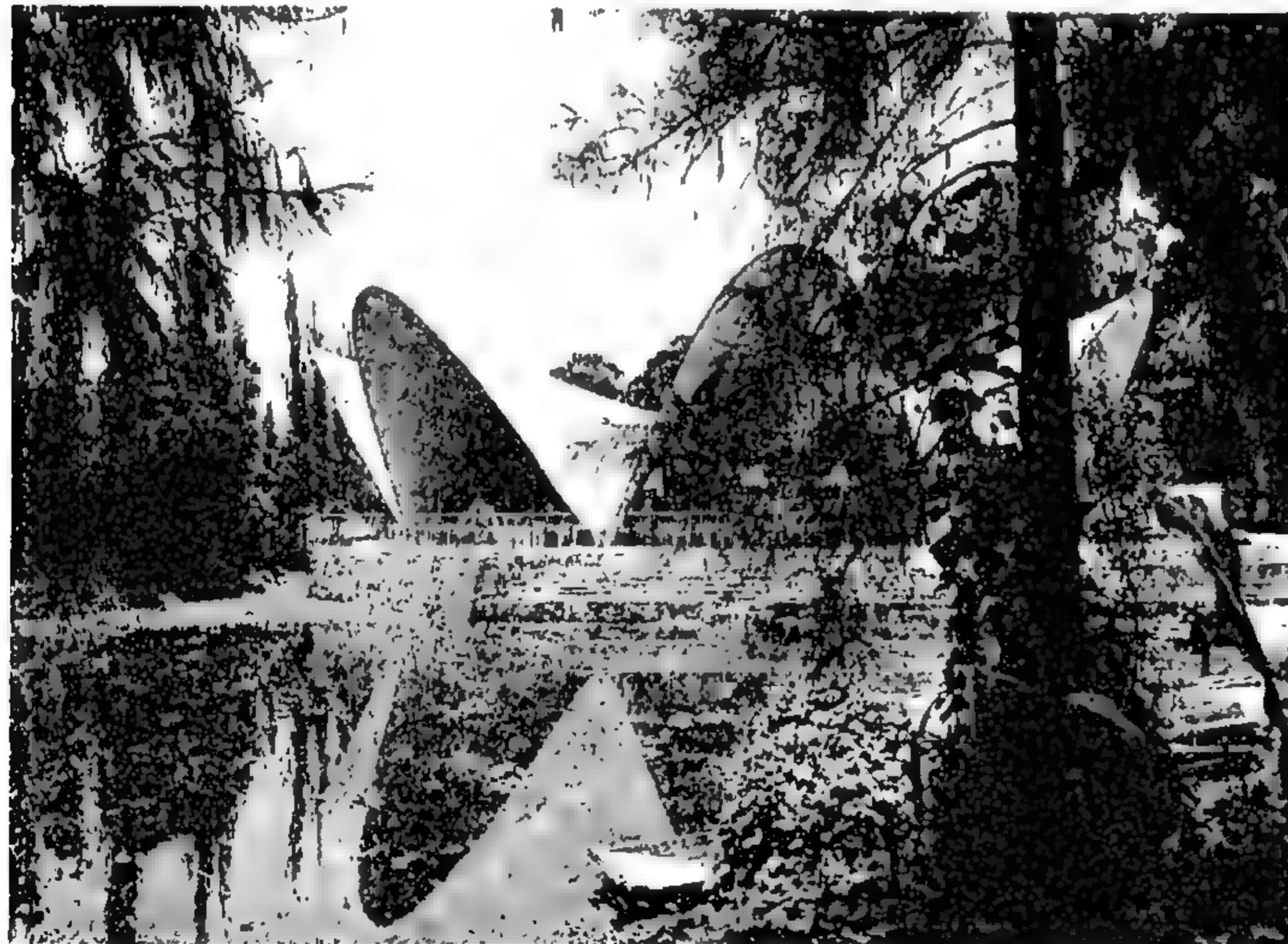
شكل ٥١٦



شكل ٥١٧



التعرف على إنتفاع المبنى
(شكل ٥١٦) سهولة التعرف بالتجربة
على المباني العامة والكنائس
والجامع بالطرز التاريخية .
(شكل ٥١٧) الأشكال الحديثة
بالخرسانة المسلحة لا تقترن عن
طريق التجربة بانتفاعات معينة



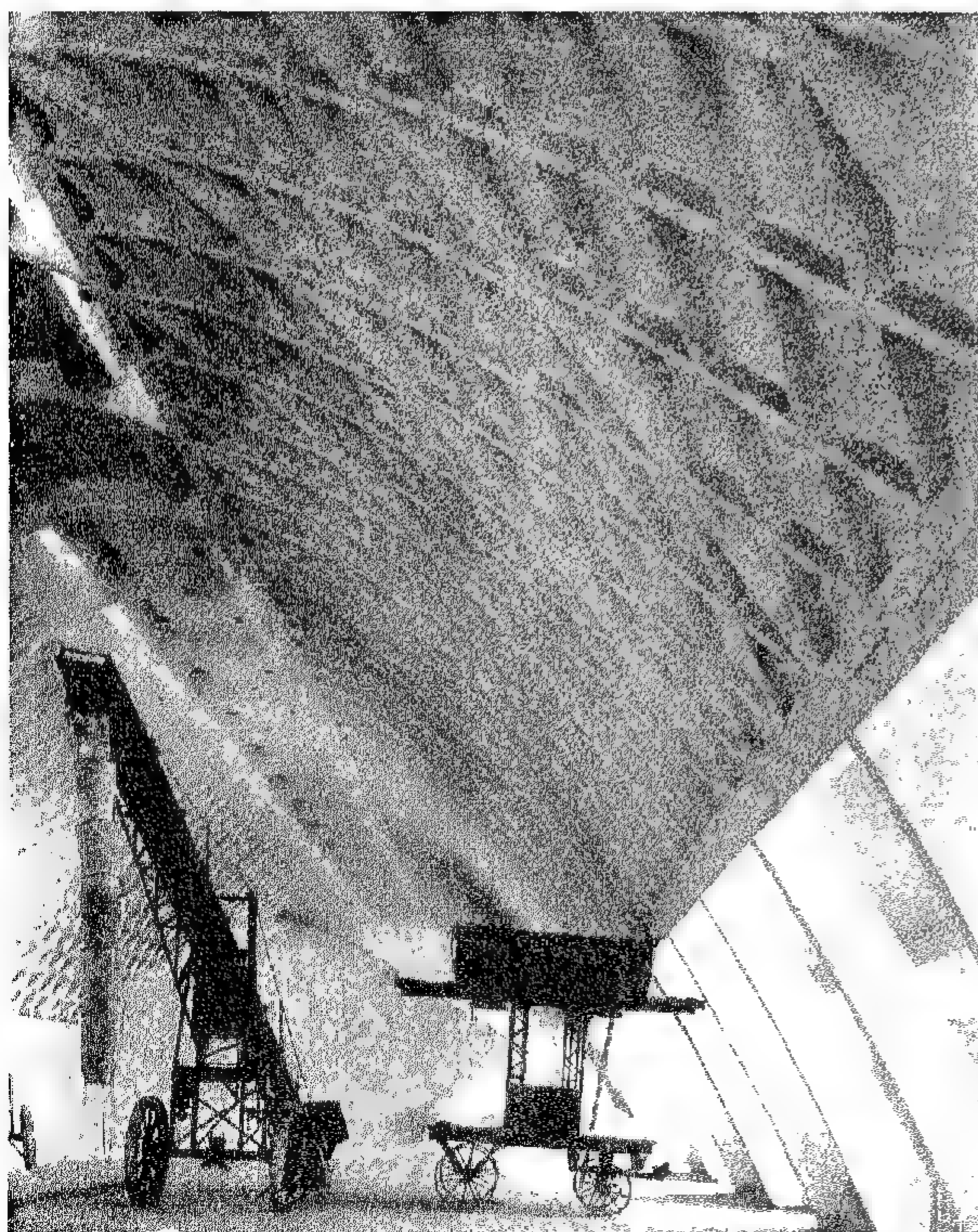
وسائل الإدراك البصرى للشكل - القطاعات

(شكل ٥١٨) ضالة مسرح معهد ماساتشوستس
لتكنولوجيا بكامبردج ماساتشوستس .
(شكل ٥١٩) مطعم لوس مانانتياالس
بمكسيكو للمهندس كاندلا وشركاه
عام ١٩٥٨ .

شكل ٥٢٠

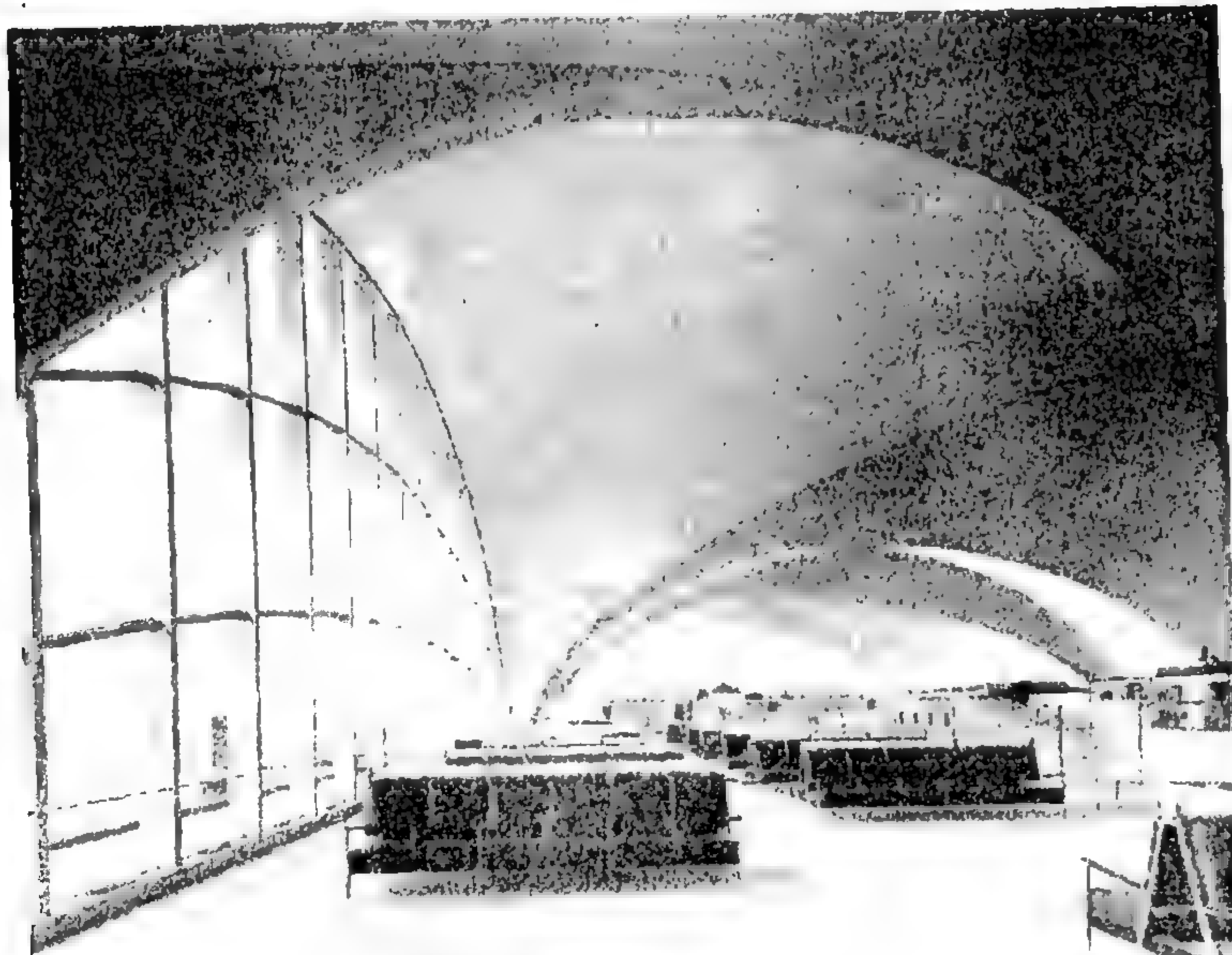


شكل ٥٢١



وسائل الإدراك البصرى للشكل

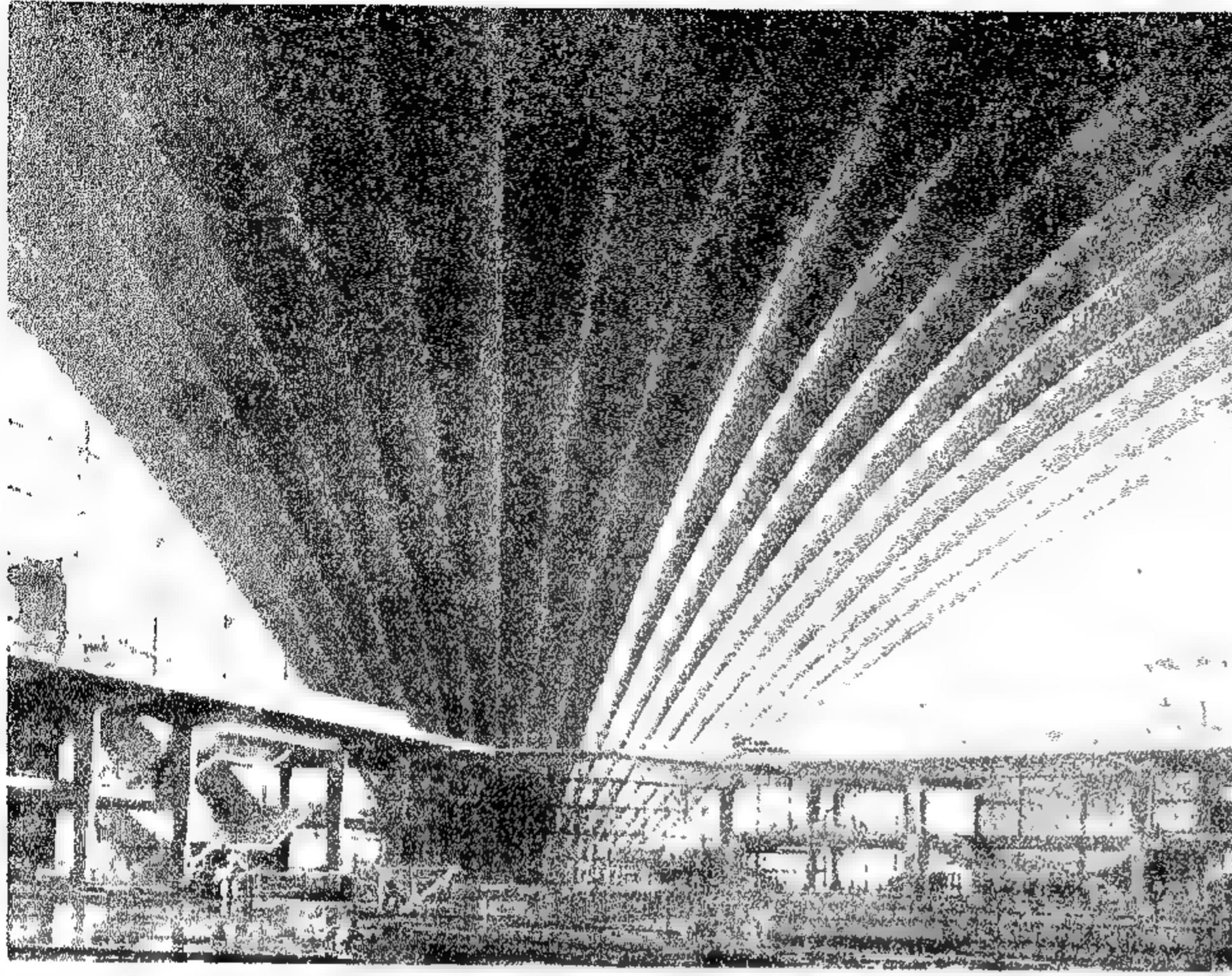
- (شكل ٥٢٠) حظيرة طائرات في كولونيا بألمانيا . - منظور داخلى يوضح الهياكل والأعصاب كرواسم للسقف (الإنشائى ديكهوف وويدمان) .
- (شكل ٥٢١) مخزن الملح الحكوى في تورثونا بإيطاليا المهندس الإنشائى بييرلويجى نيرفى .



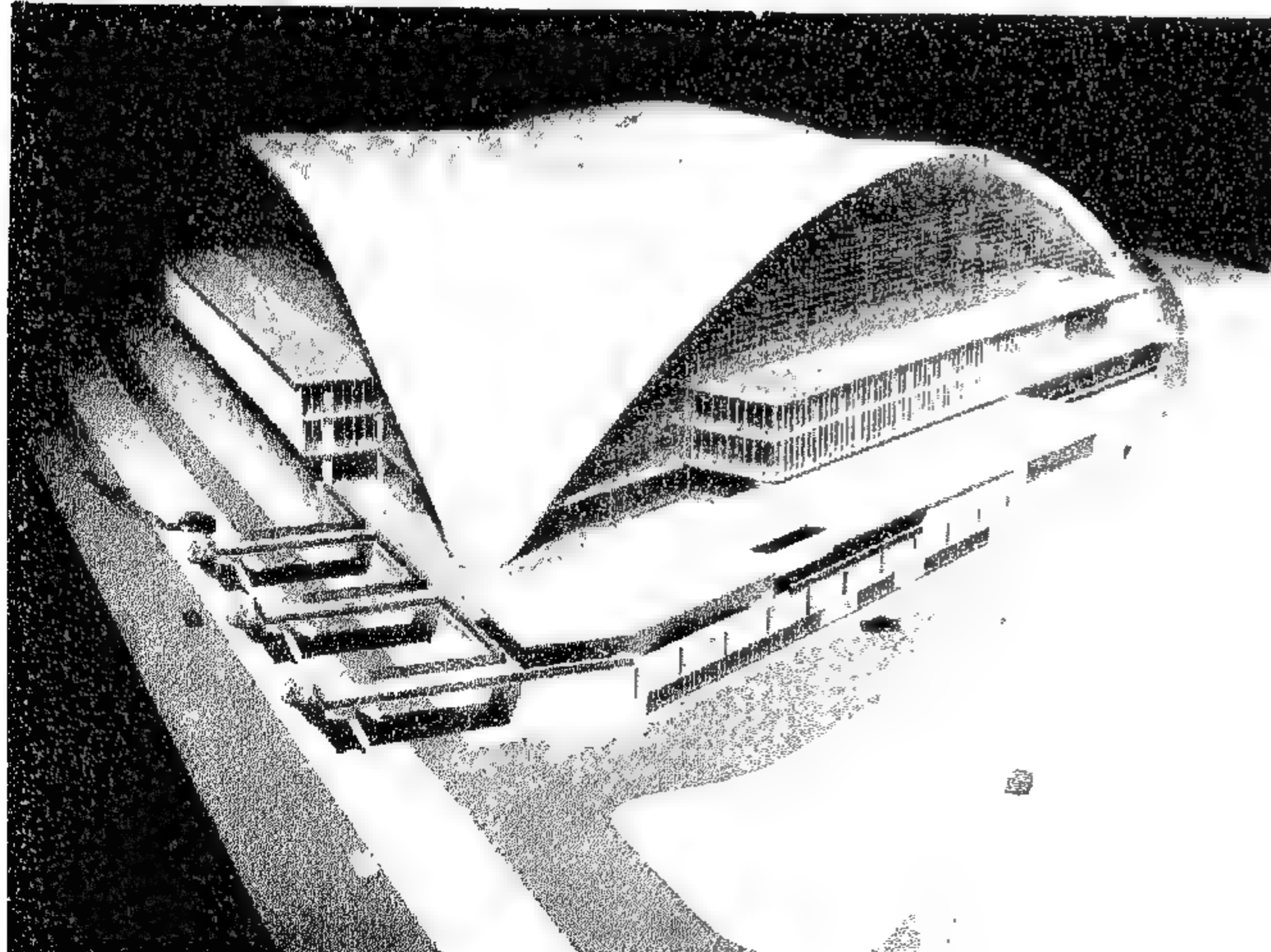
شكل ٥٢٤

وسائل الإدراك البصرى للشكل - الفتحات الزجاجية

- (شكل ٥٢٢) صالة K.B. بكوبنهاجن -
المعماري أوستنفيلد جونسون .
- (شكل ٥٢٣) السوق المفتوح في فيفيسويسرا
(المعماريون شوبنجر وتوينجى وجيتاز) .
- (شكل ٥٢٤) صالة مطار مدينة سانت لويس
بأمريكا (المعماريون ياماساكي ولان
وبر وشركاهم) .



شكل ٥٢٥



شكل ٥٢٦

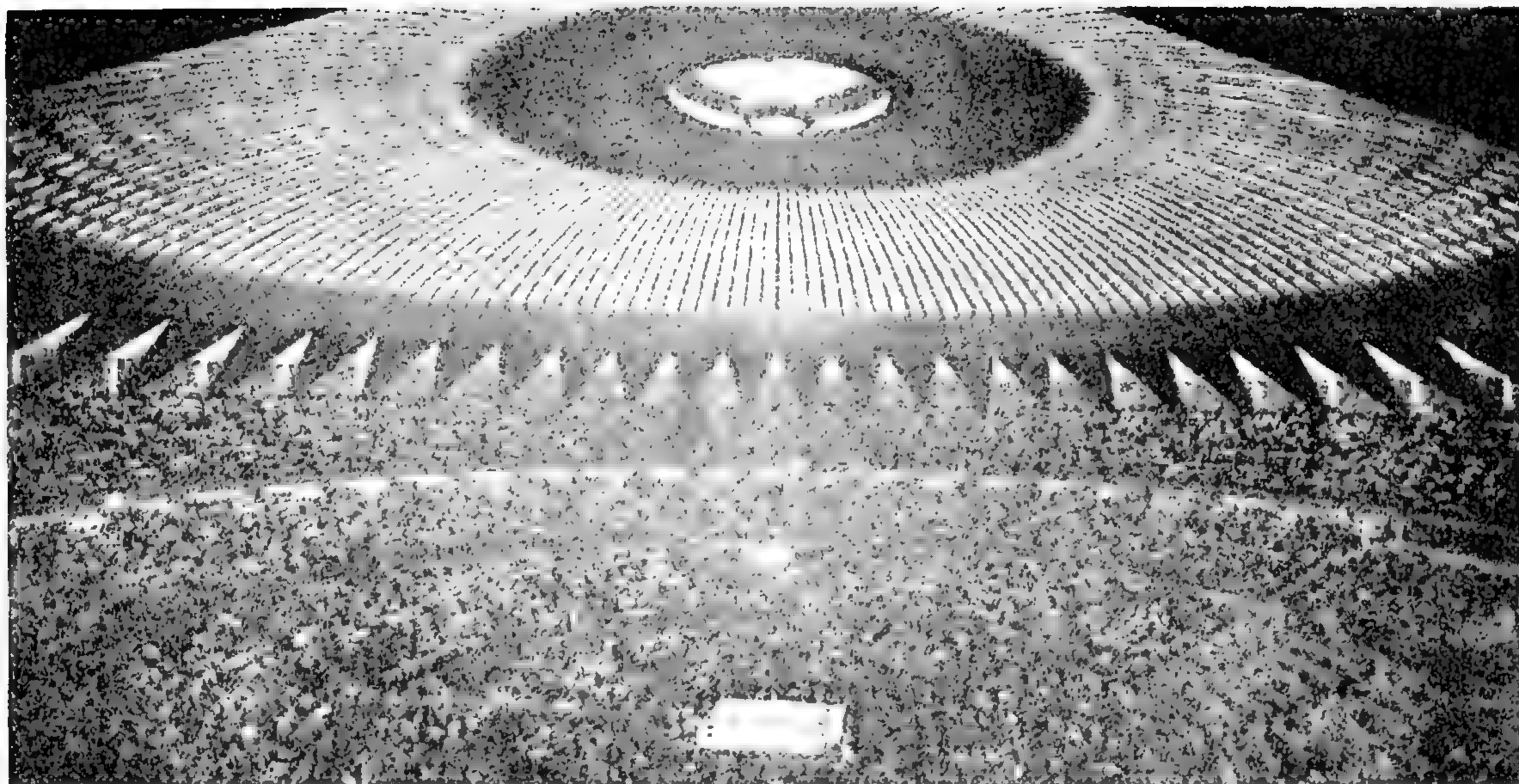
وسائل الإدراك البصرى للشكل - التموجات

(شكل ٥٢٥) قصر المركز القوى للصناعة والتكنولوجيا

Q.I.N.T - باريس عام ١٩٥٧ - ٥٨ .

(شكل ٥٢٦) نموذج للقصر مبينا تداخل الكتل المحيطة

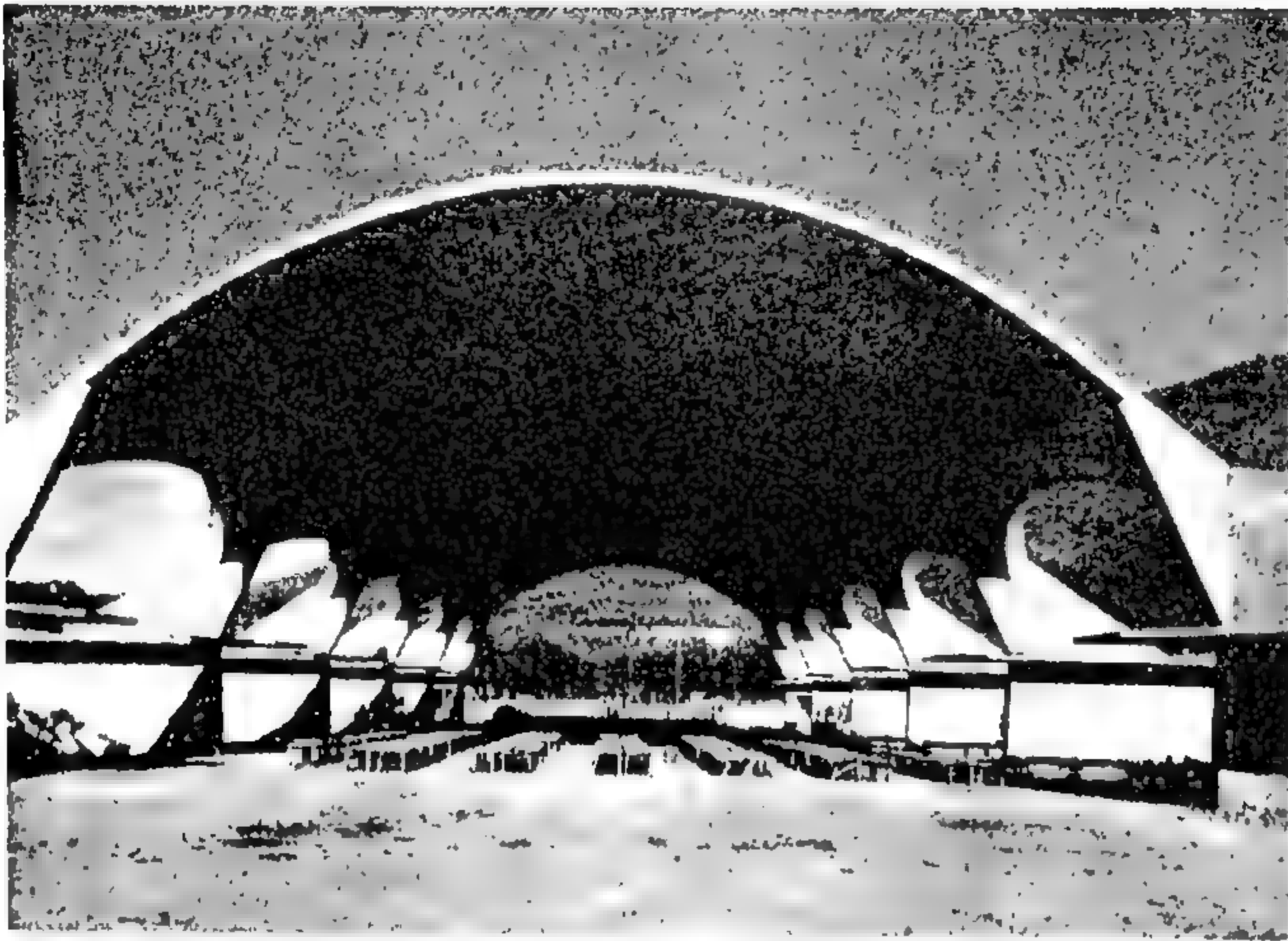
بالصالة الوسطى مما عطل التأثير الموحد للشكل العام .



وسائل الإدراك البصري للشكل — التموجات

(شكل ٥٢٧) قصر الرياضة بروما — إيطاليا — منظور
داخلي أثناء الحفلات الأولمبية .

شكل ٥٢٩



شكل ٥٢٨



شكل ٥٣٠



الخرسانية كمادة بلاستيكية متناسكة - الاتجاه الإنشائي

(شكل ٥٢٨) ملعب اليسبول

بمدينة قرطاجنة بكولومبيا .

(للمهندسون المعماريون سولانو

وأورتيجا وشركاهم والمهندس

الإنشائي ج . جنتالز) .

(شكل ٥٢٩) السوق المنطاة في

مدينة بسكيا بإيطاليا .

(المهندسون المعماريون بريزي

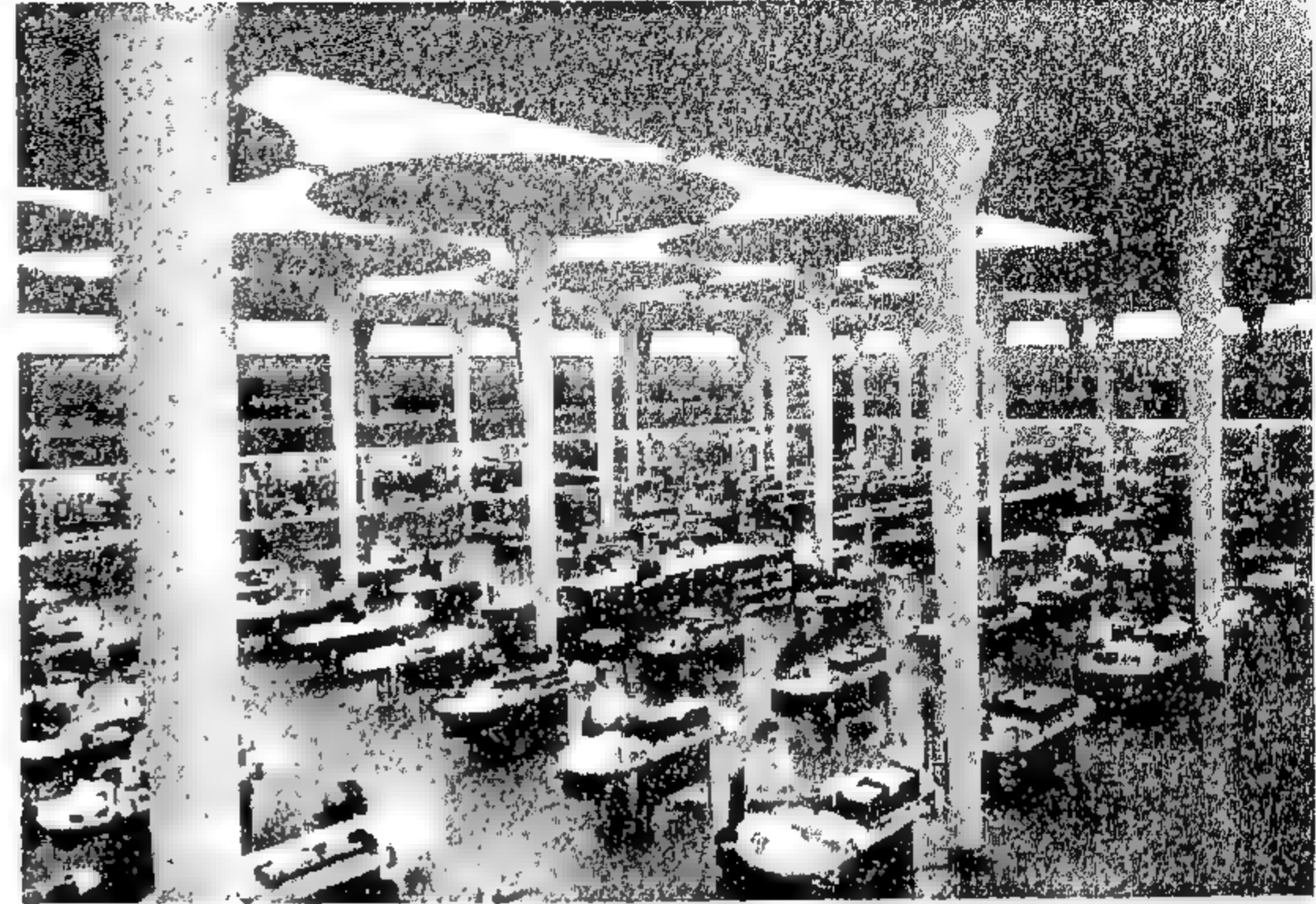
وجوري وريثي وسافوال) .

(شكل ٥٣٠) نادي فوتيكو

بهاقانا بكوبا (المهندس المعماري

ماكس بورجس) .

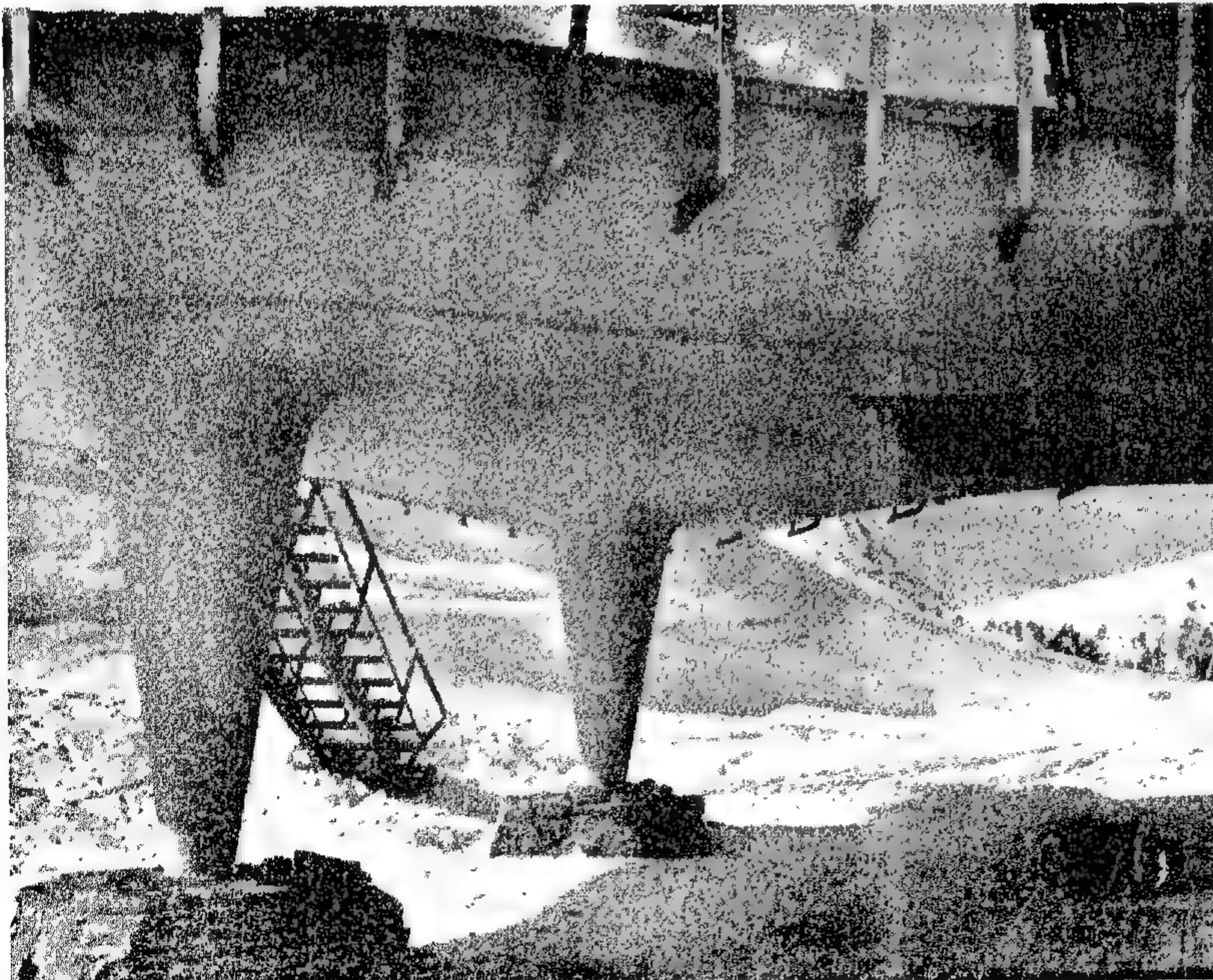
شكل ٥٣١



شكل ٥٣٢



شكل ٥٣٣



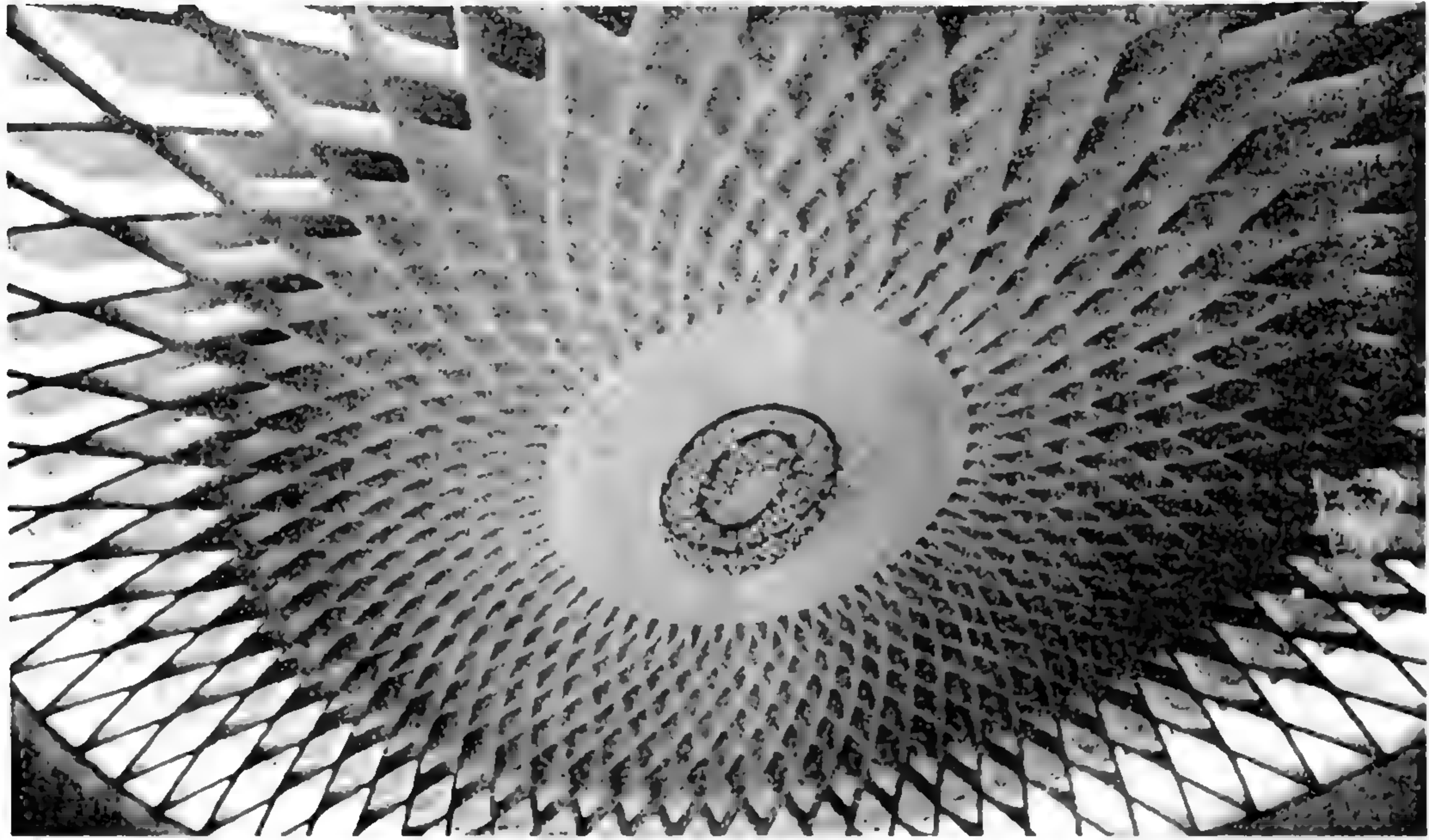
الحرسانة كمادة بلاستيكية متماسكة

اتصال الأعمدة بالبلاطات :

(شكل ٥٣١) - صالة المكاتب بمركز شركة جونسون واكس بمدينة راسين بولاية وسكنسن .

(شكل ٥٣٢) - سقيفة انتظار سيارات بمركز شركة جونسون واكس .

(شكل ٥٣٣) - نادي الانزلاق على الجليد في بحيرة نيزو بإيطاليا .



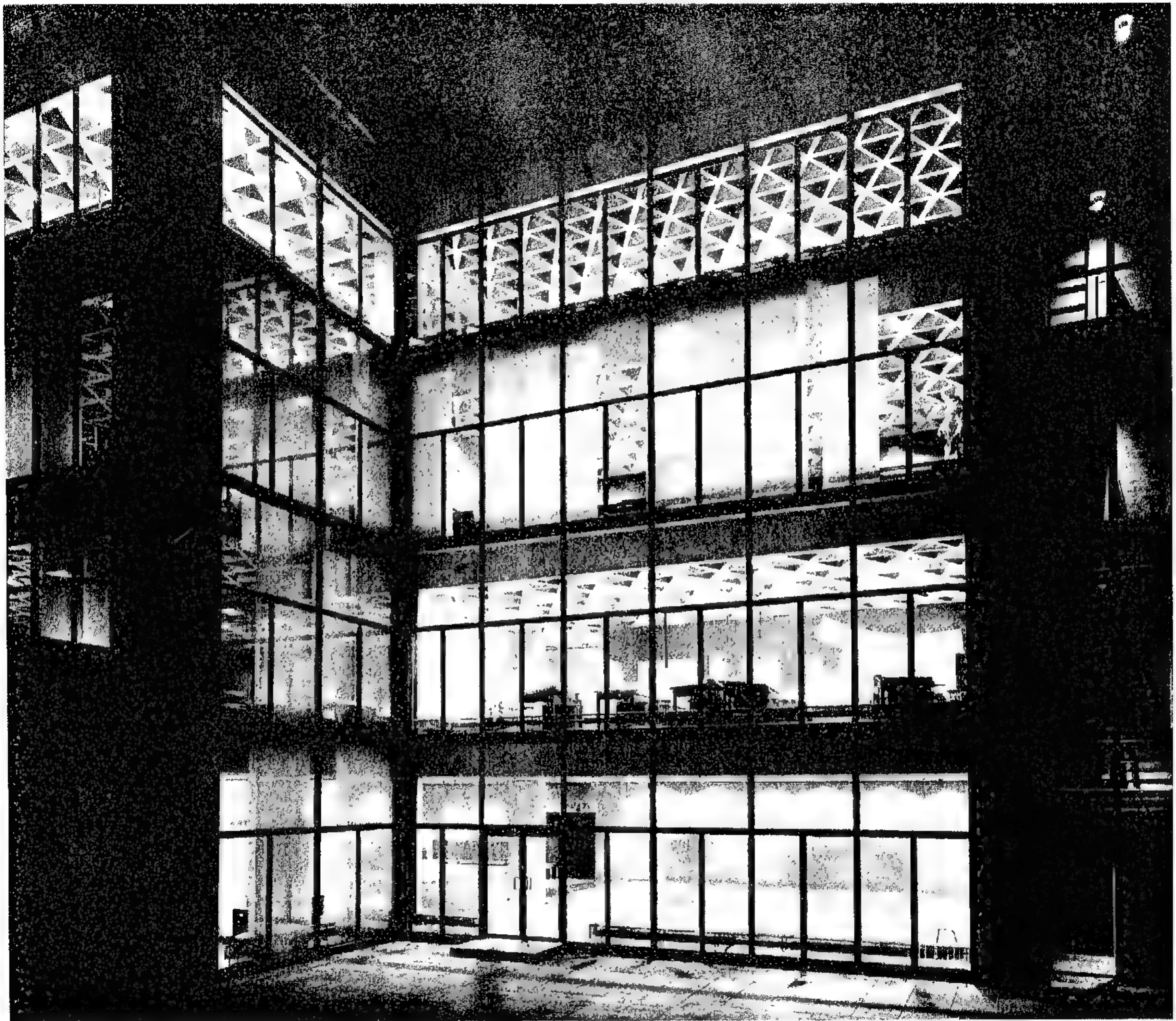
شكل ٥٣٥



شكل ٥٣٦



الخرسانة كمادة بلاستيكية -
أعصاب الأسطح الفعالة
المهندس / بيري لويجي نيرلي
(شكل ٥٣٤) قبة صالة الرقص
بشيانسيانو.
(شكل ٥٣٥) مصانع الطباقي في
بولونيا بإيطاليا .
(شكل ٥٣٦) بديوم مصانع
جاني للصوف في روما .



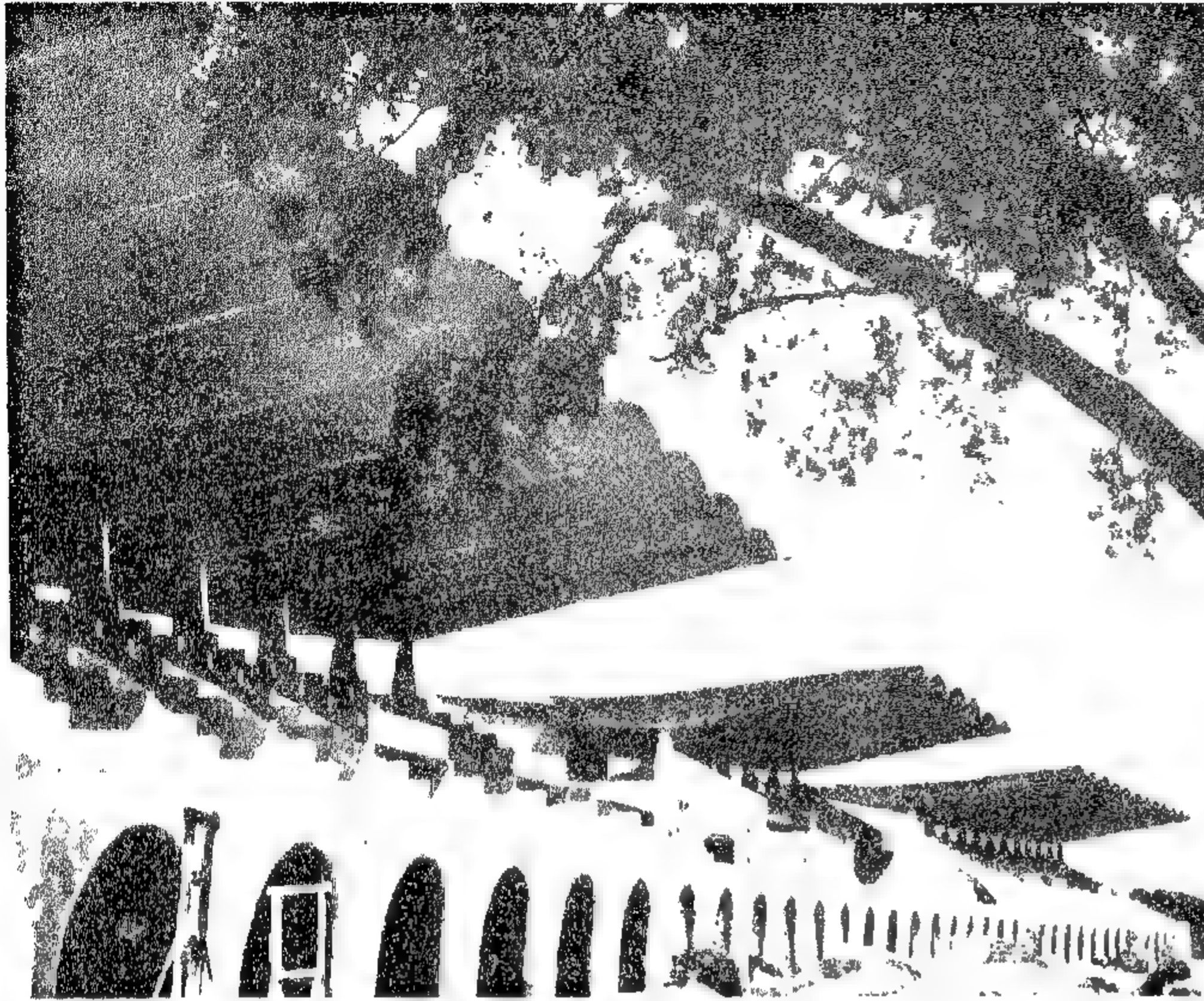
شكل ٥٣٧

الخرسانة كمادة بلاستيكية -

أعصاب الأسطح الفعالة

المهندس المعماري / لويس كان

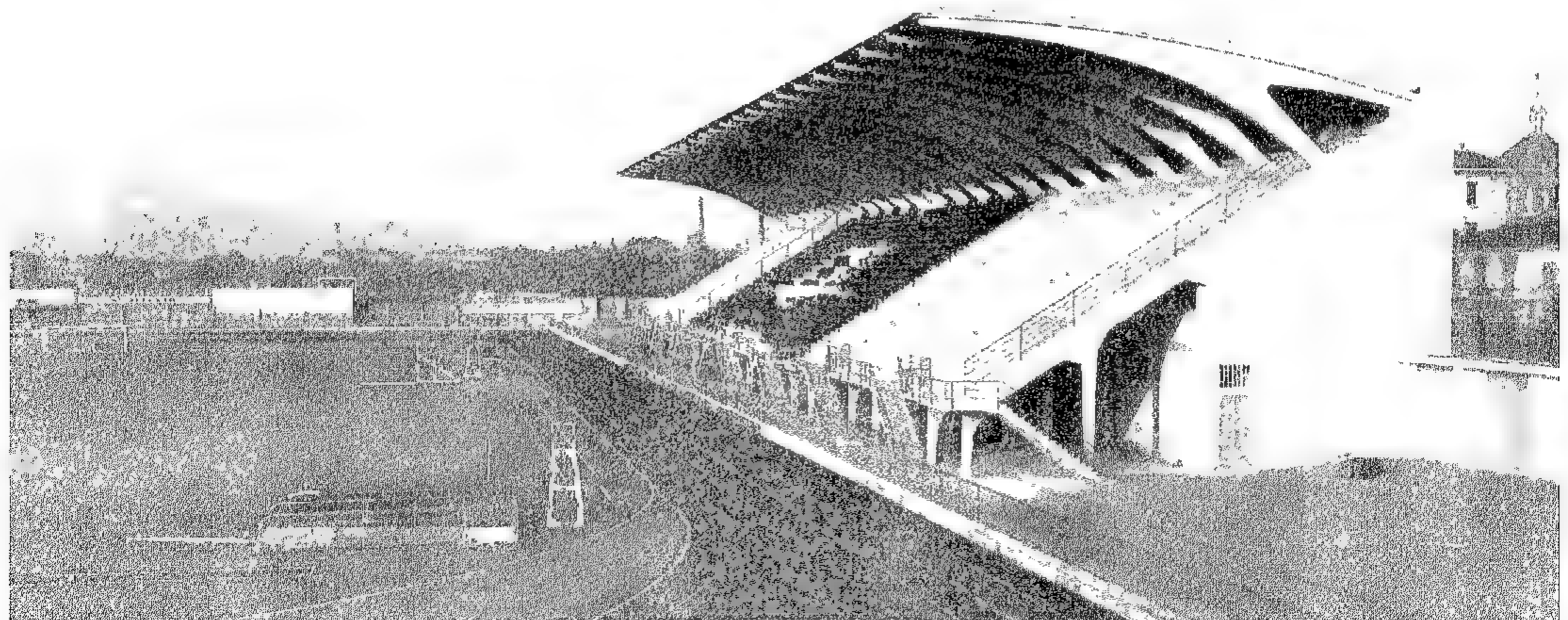
(شكل ٥٣٧) مركز التصميم جامعة ييل - نيويورك كنكتكت .



شكل ٥٣٨

الحرسانة كمادة بلاستيكية متماسكة —
الوحدات الكابولية

(شكل ٥٣٨) — استاد حلقة سباق الخيل
في مدريد — المهندس الإنشائي إدوارد تروخا .
(شكل ٥٣٩) — مدرجات استاد البلدية
في فلورنسا — المهندس الإنشائي بيري لويجي
نيرفي .



شكل ٥٣٩



الخرسانة كمادة بلاستيكية متماسكة -
الوحدات الكابولية

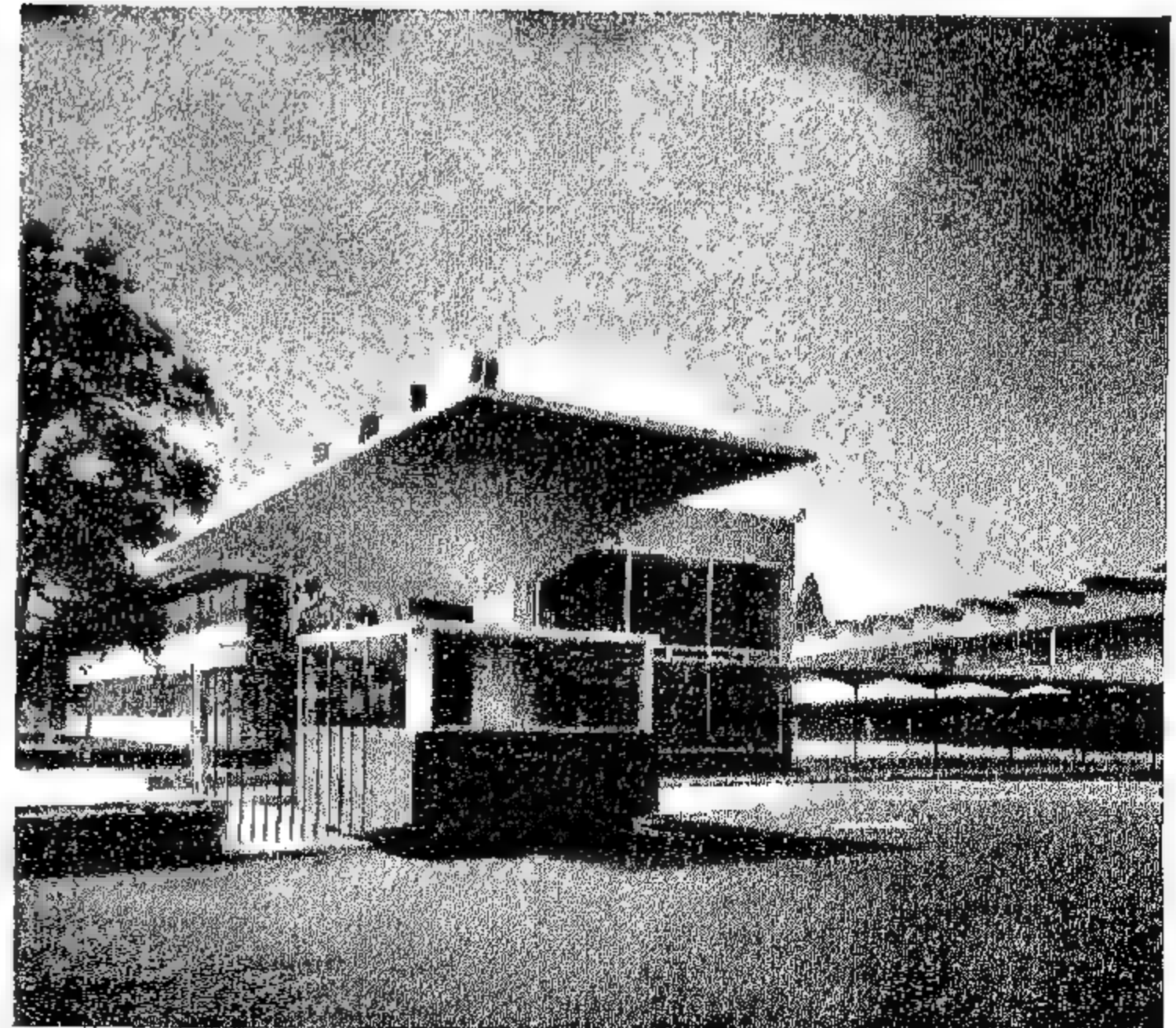
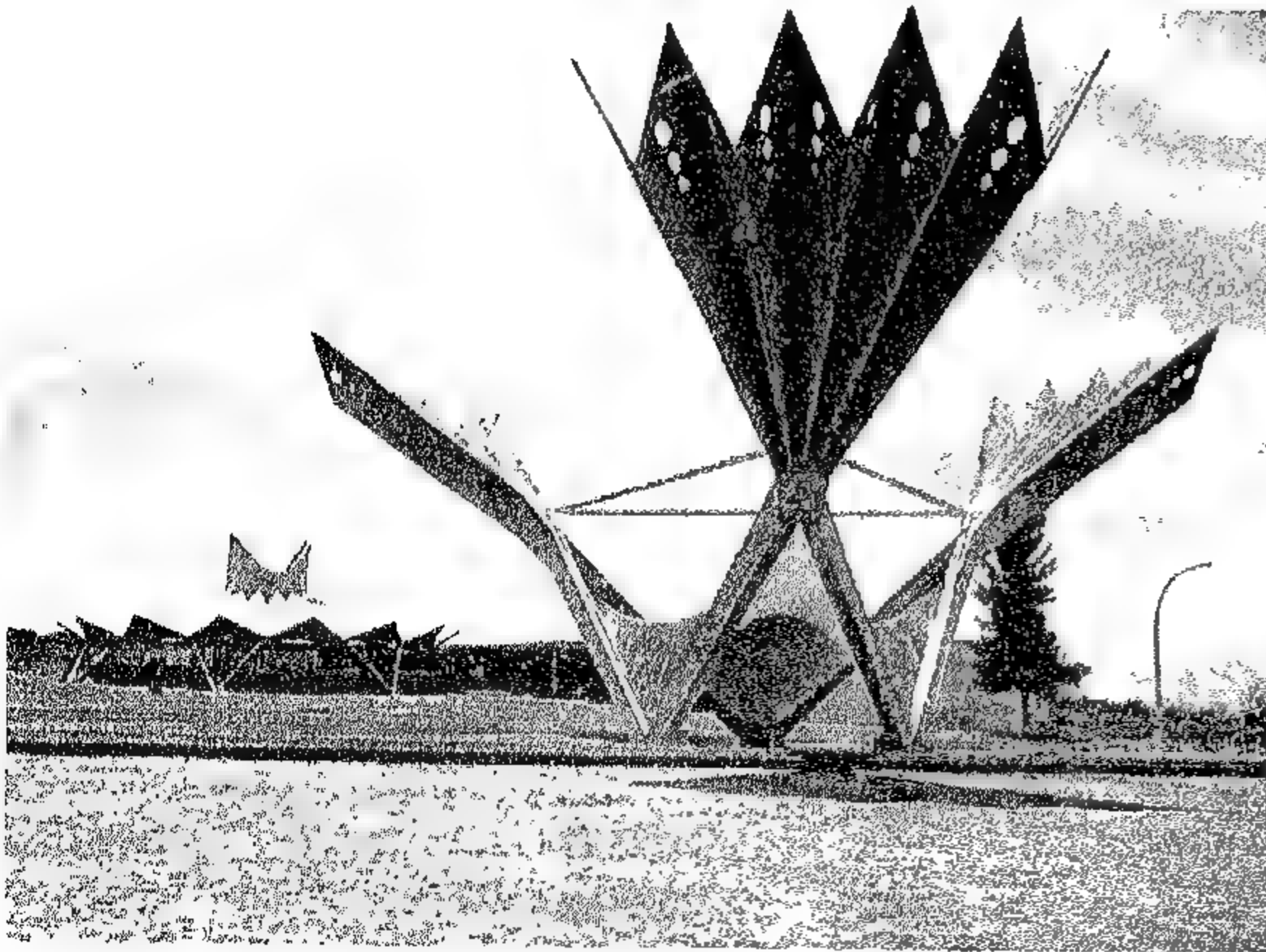
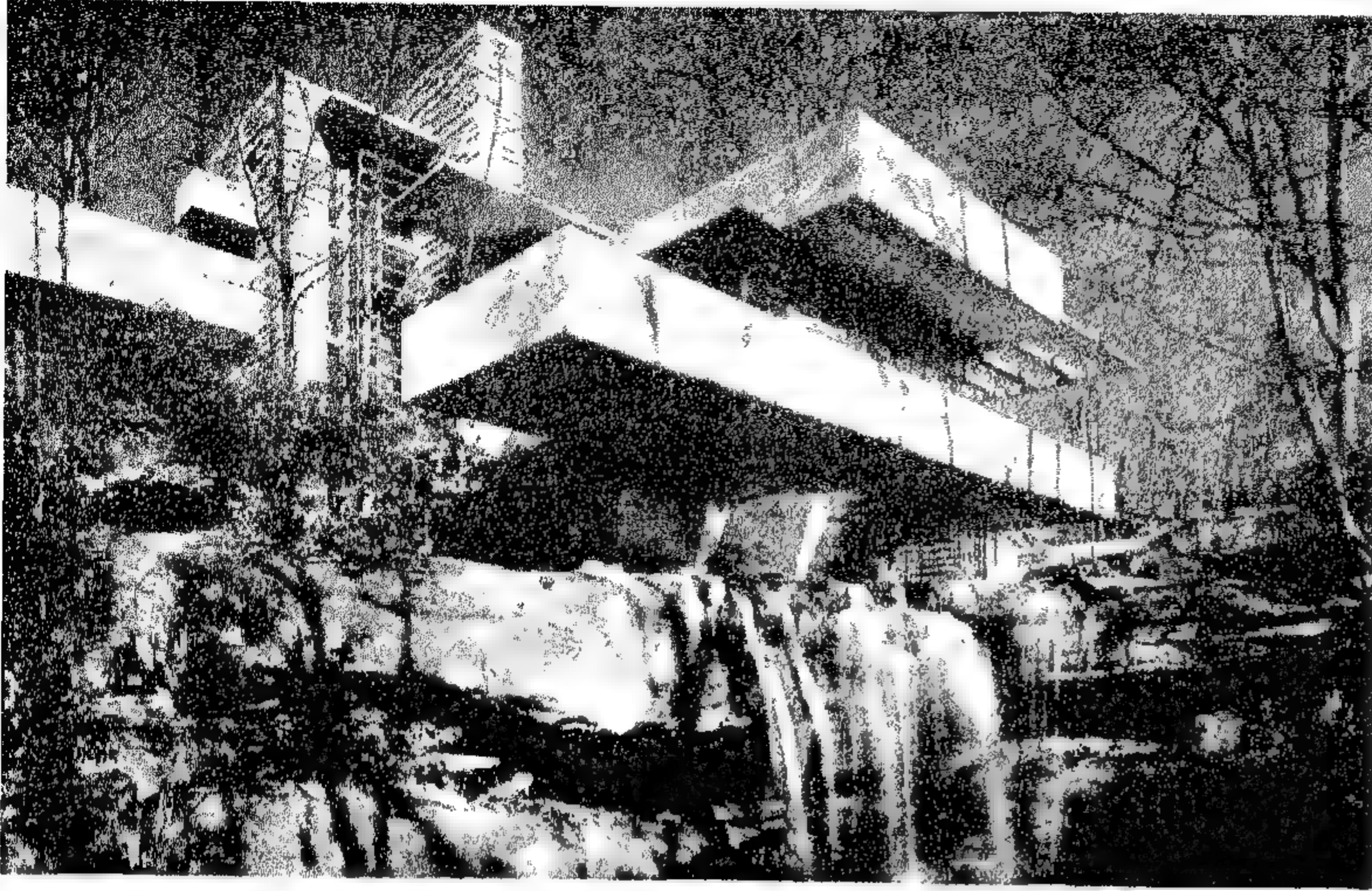
(شكل ٥٤٠) - محطات صيانة الأتوبيسات
في بوجوتا بكولومبيا . (المهندس
المعماريان سولانو وأورتيجا) .

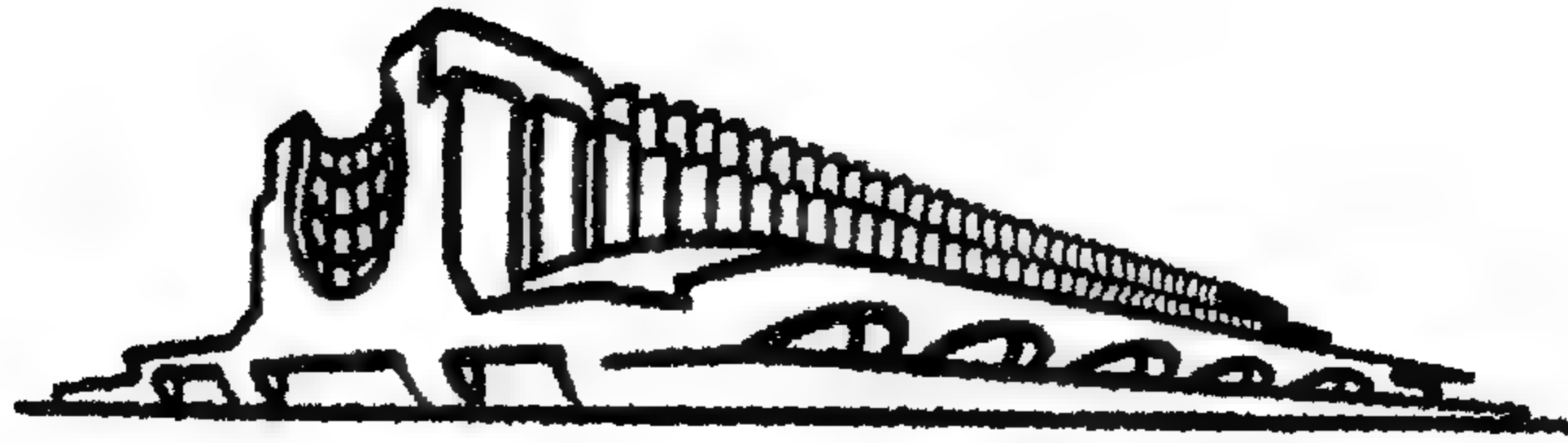
(شكل ٥٤١) - منزل ادجار كافمان في
مدينة بيرون ببنسلفانيا سنة ١٩٣٦
- المهندس المعماري فرانك لويد رايت .

(شكل ٥٤٢) - علامة مميزة بارتفاع ١٠٥
متر في كويرناثاكا من تصميم فيليكس كاندلا
(شكل ٥٤٣) - سقفة كابولية من أربعة

قطاعات زائدية مكافئة فوق غرفة الحارس في
معامل سيبا بمكسيكو .

(المهندس المعماري ا . بريتو بمكسيكو .
والإنشائي كاندلا) .





شكل ٥٤٤



شكل ٥٤٥



شكل ٥٤٦

الخرسانة كمادة بلاستيكية متماسكة -
الاتجاه التعبيري

(شكل ٥٤٤) - استكشاف مندلسون
لمحطة بضاعة .

(شكل ٥٤٥) - مصنع كيماوى .

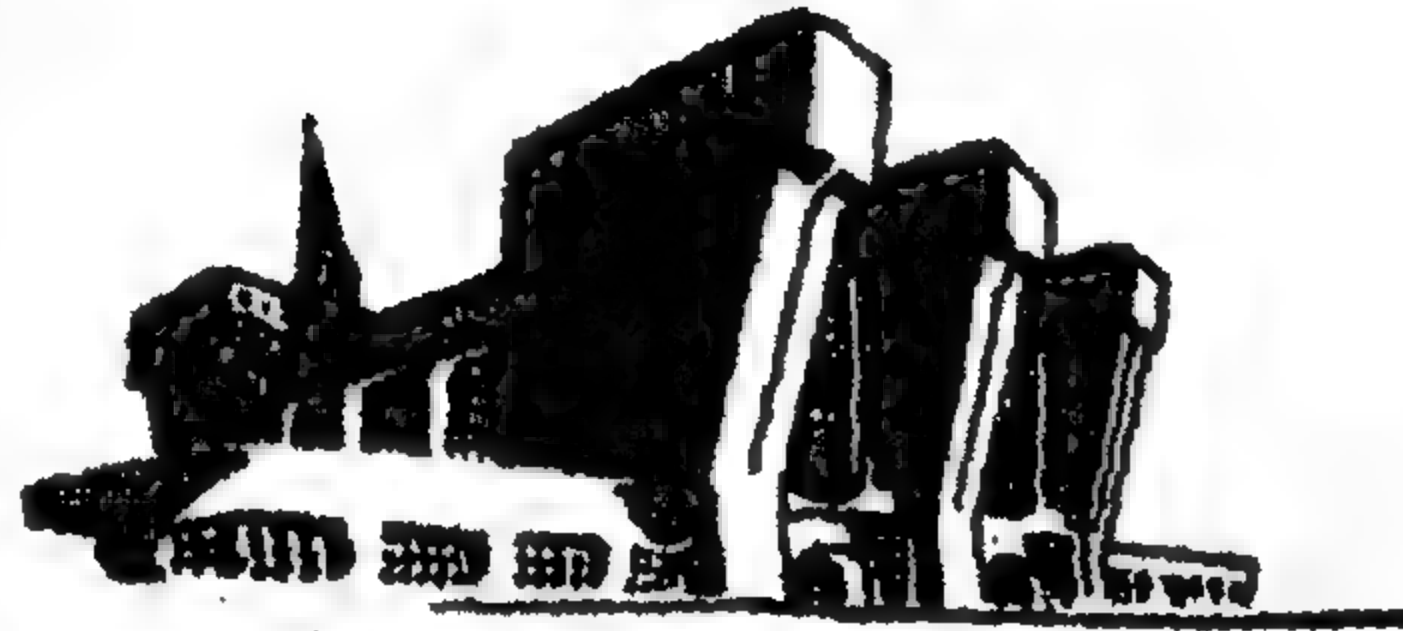
(شكل ٥٤٦) - مصنع بصرى .

(شكل ٥٤٧) - مبنى صناعى .

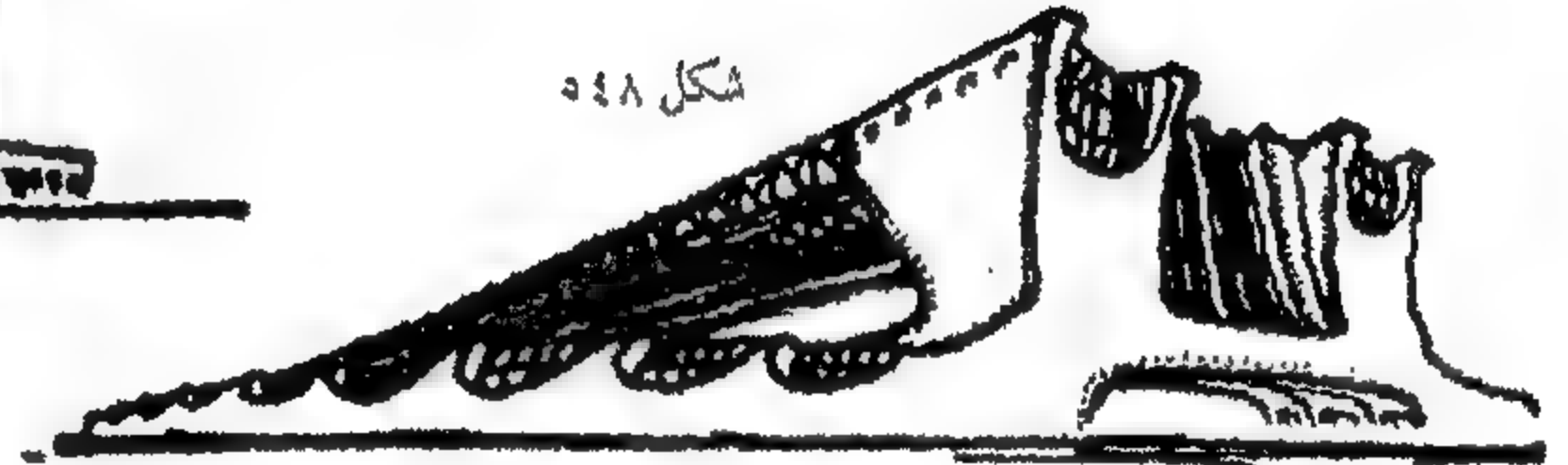
(شكل ٥٤٨) - مصنع شاسيه سيارات .

(شكل ٥٤٩) - برج أينشتاين فى بوتسدام
بألمانيا .

(شكل ٥٥٠) - مصنع لوكنفالد للقميحات .



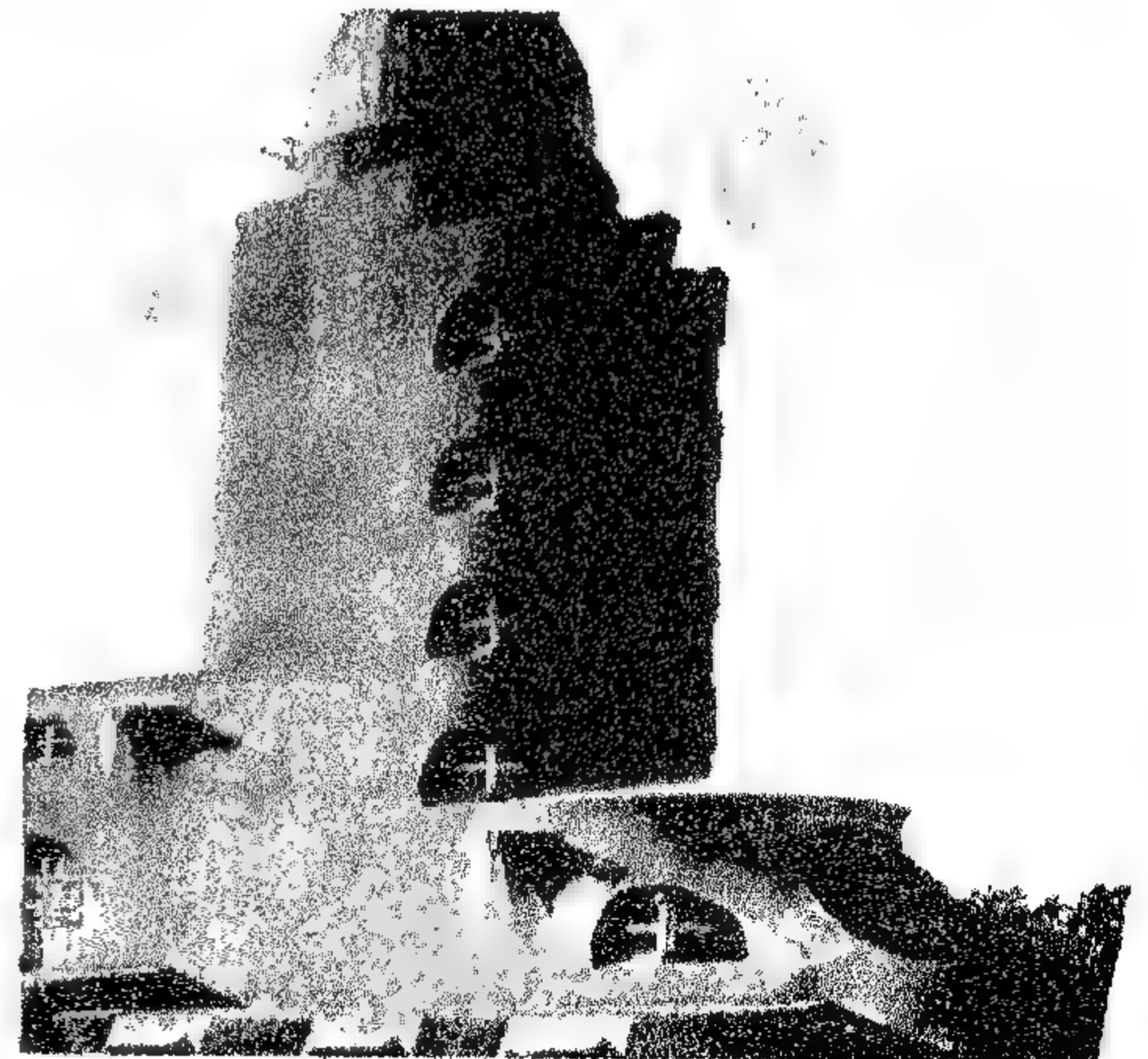
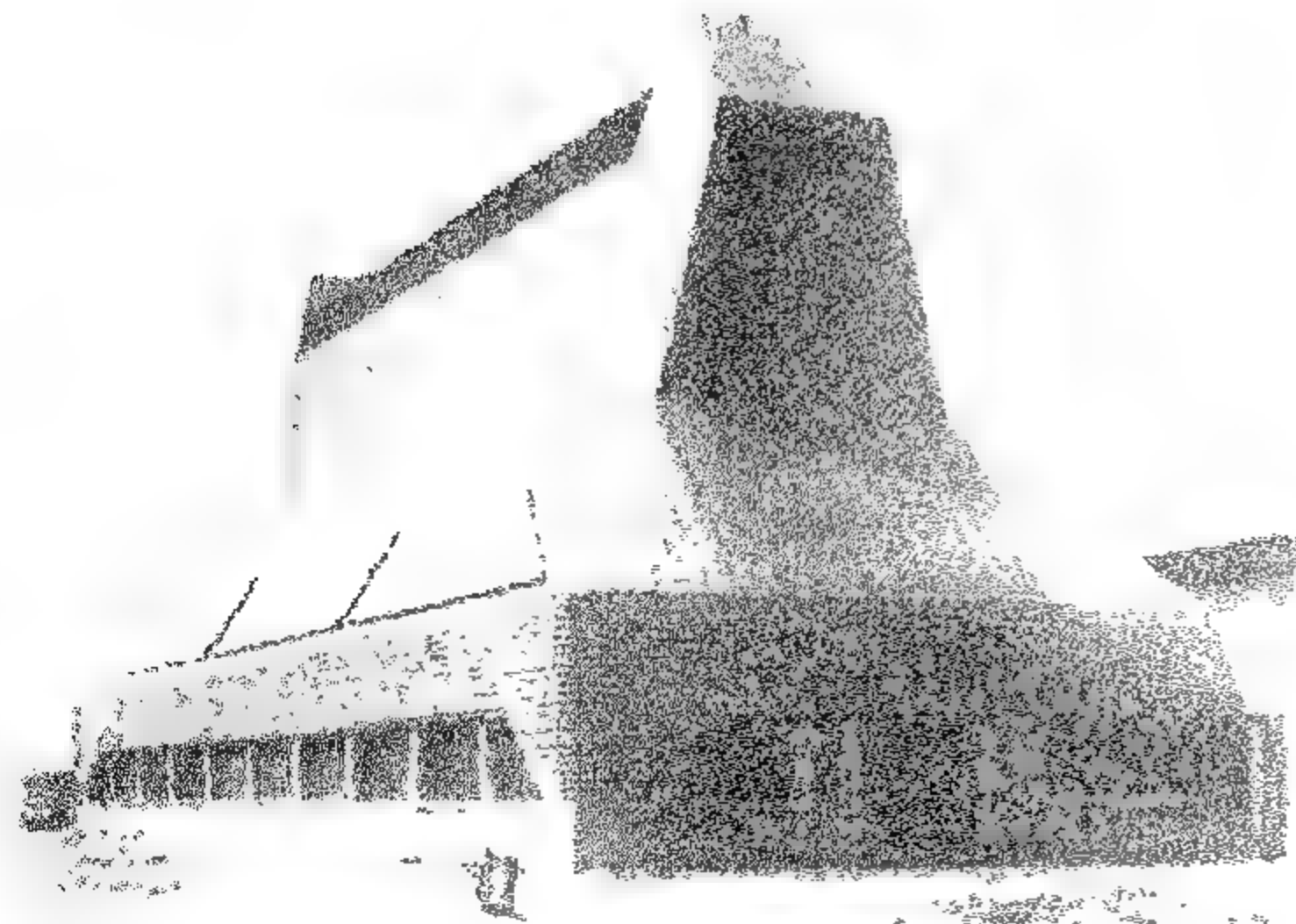
شكل ٥٤٧



شكل ٥٤٨

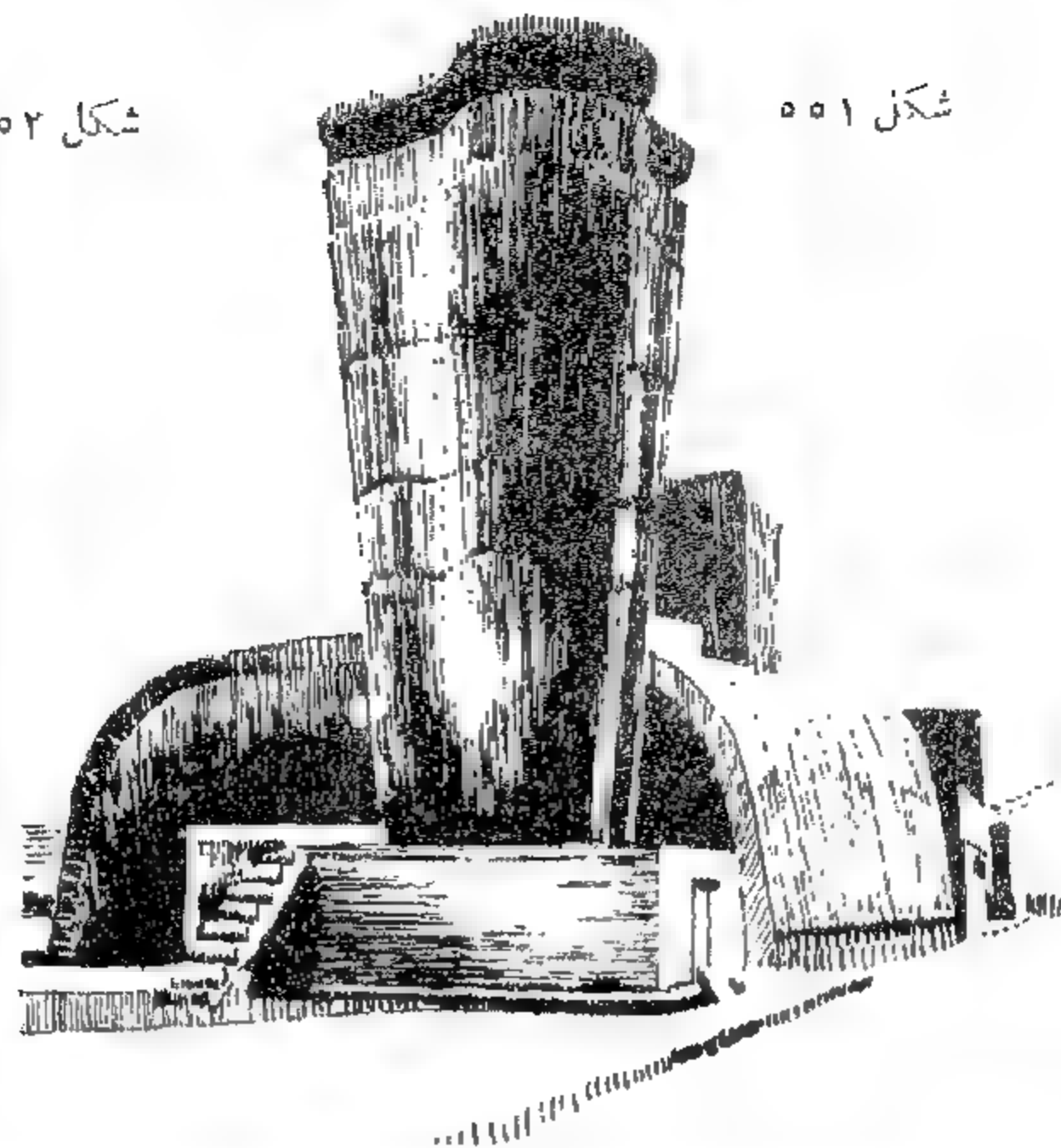
شكل ٥٥٠

شكل ٥٤٩



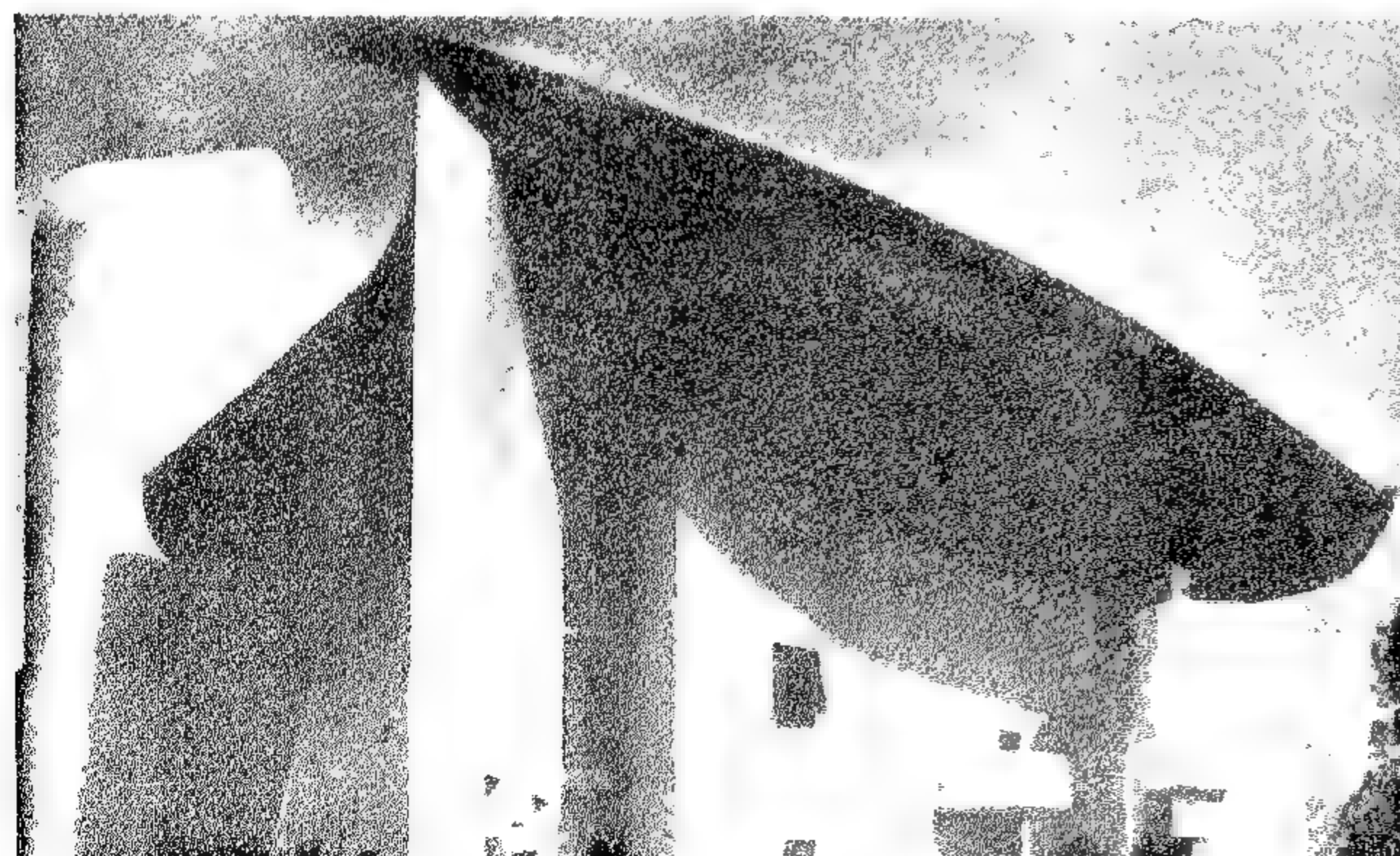
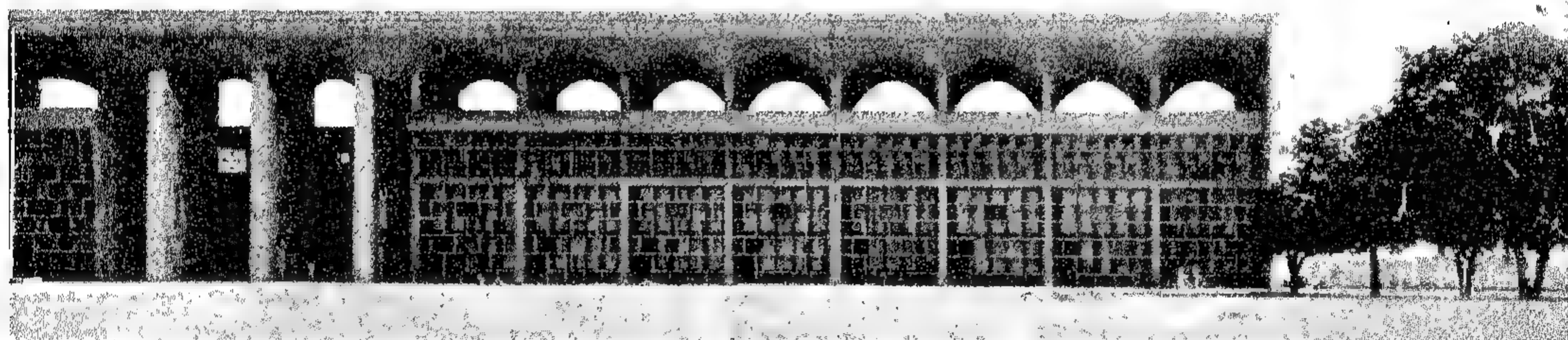


شكل ٥٥٢



شكل ٥٥١

شكل ٥٥٣



شكل ٥٥٤

الحرسانة كمادة بلاستيكية متماسكة - الاتجاه التعبيري

المهندس لو كوربوزيه .

(شكل ٥٥١) حديقة السطح بمجموعة مارسيلا السكنية .

(شكل ٥٥٢) السلم الخارجي الحرساني بمجموعة مارسيلا السكنية .

(شكل ٥٥٣) دار المحكة العليا في مدينة شانديجار بالهند .

(شكل ٥٥٤) كنيسة نوتردام دي هو في مدينة رونشان بفرنسا .



شكل ٥٥٦



شكل ٥٥٦

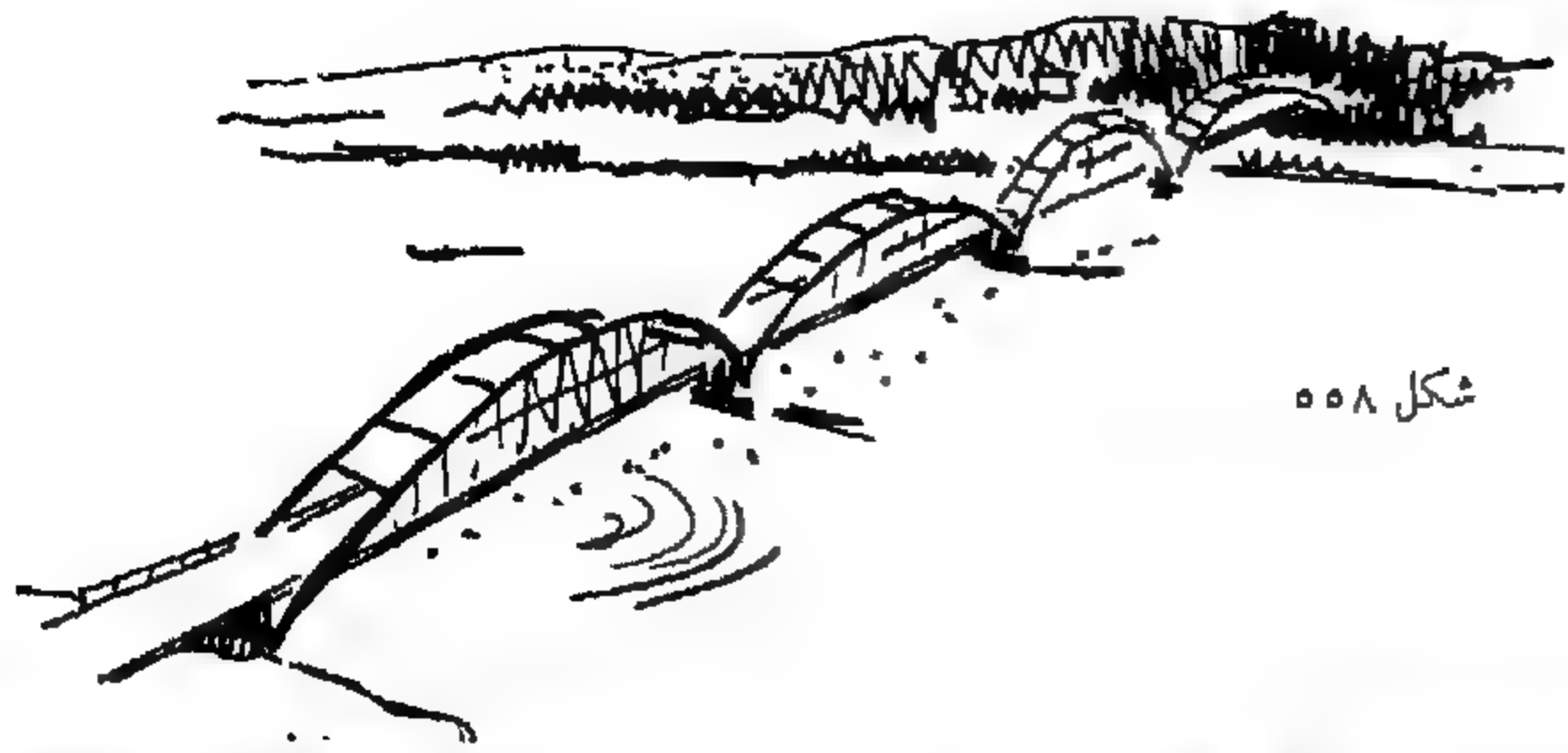


الخرسانة كمادة بلاستيكية متناسكة - الاتجاه الزخرفي

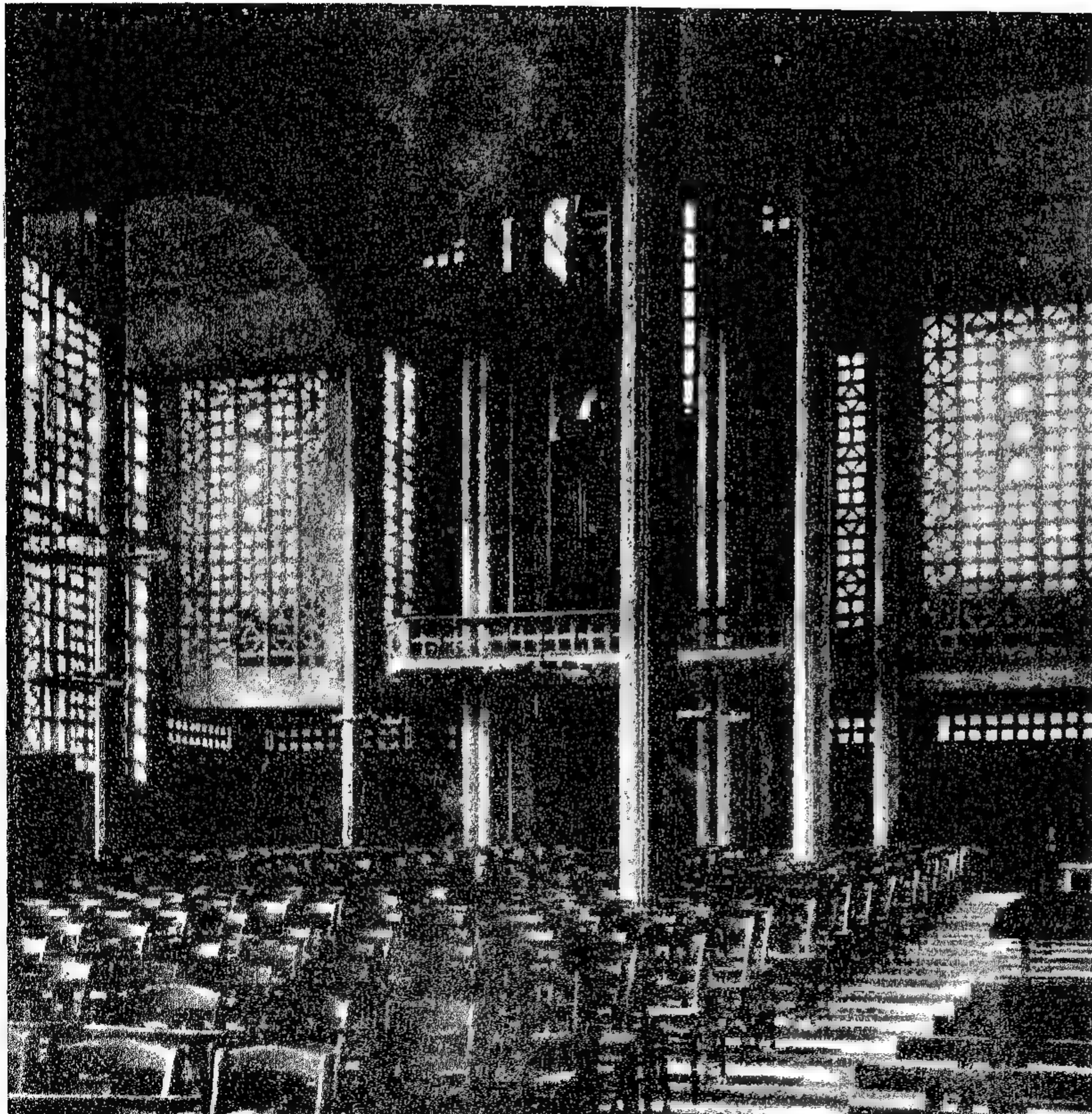
(شكل ٥٥٥) انطباعات غاطلة
في الخرسانة مبنية على شكل
موديلور في الأدوار الأرضية
بأغلب عمارات لوكوربوزيه

(شكل ٥٥٦) مركز العرض
ساحة ماكورمك على شاطئ
البحيرة بشيكاجو (الفنان
كونستانتين ليغولا والمصارعين
شو و ميتز و دوليو.

(شكل ٥٥٧) المركز الرئيسي
لشركة تأمين ميوتوال أوڤ
هارتفورد (الفنان فيغولا
والمهندسون المعمارين شيروود
وميلز وسميث) .

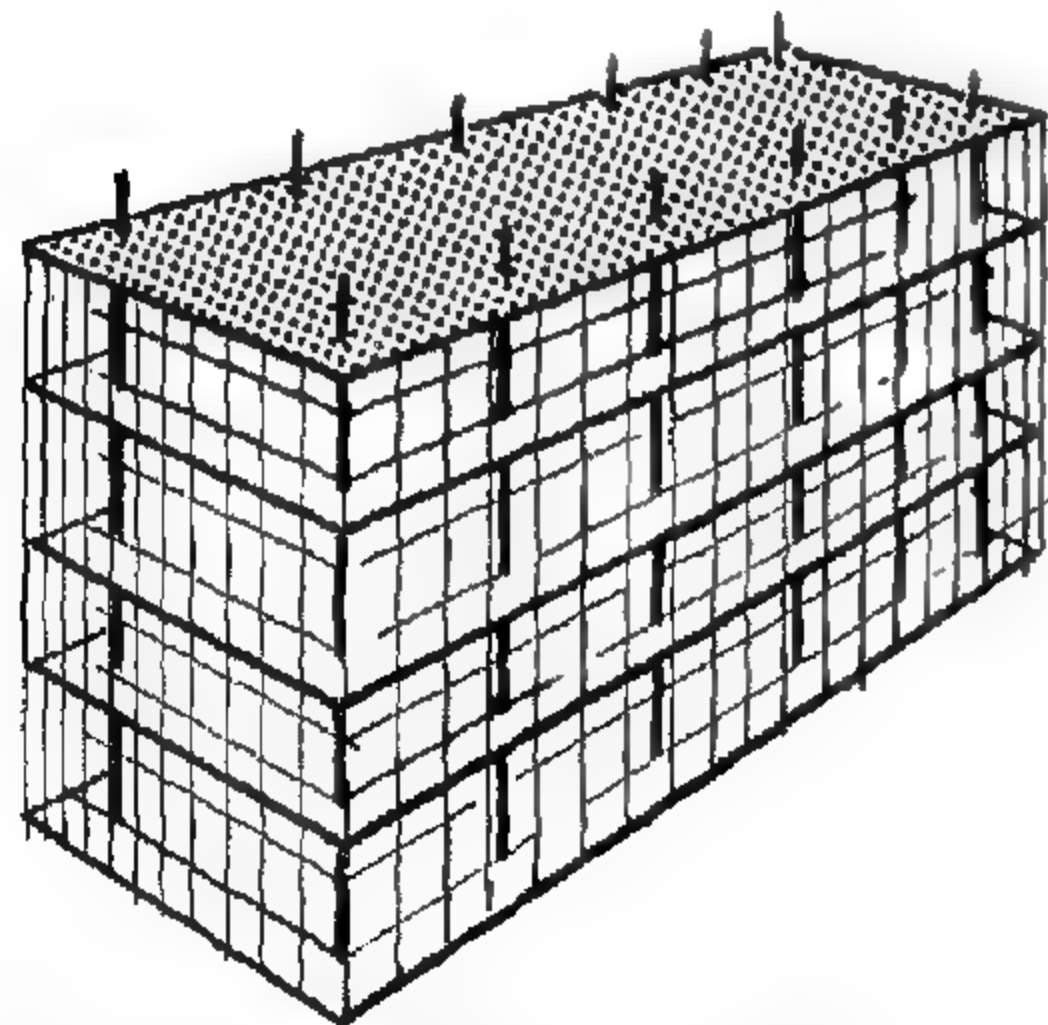
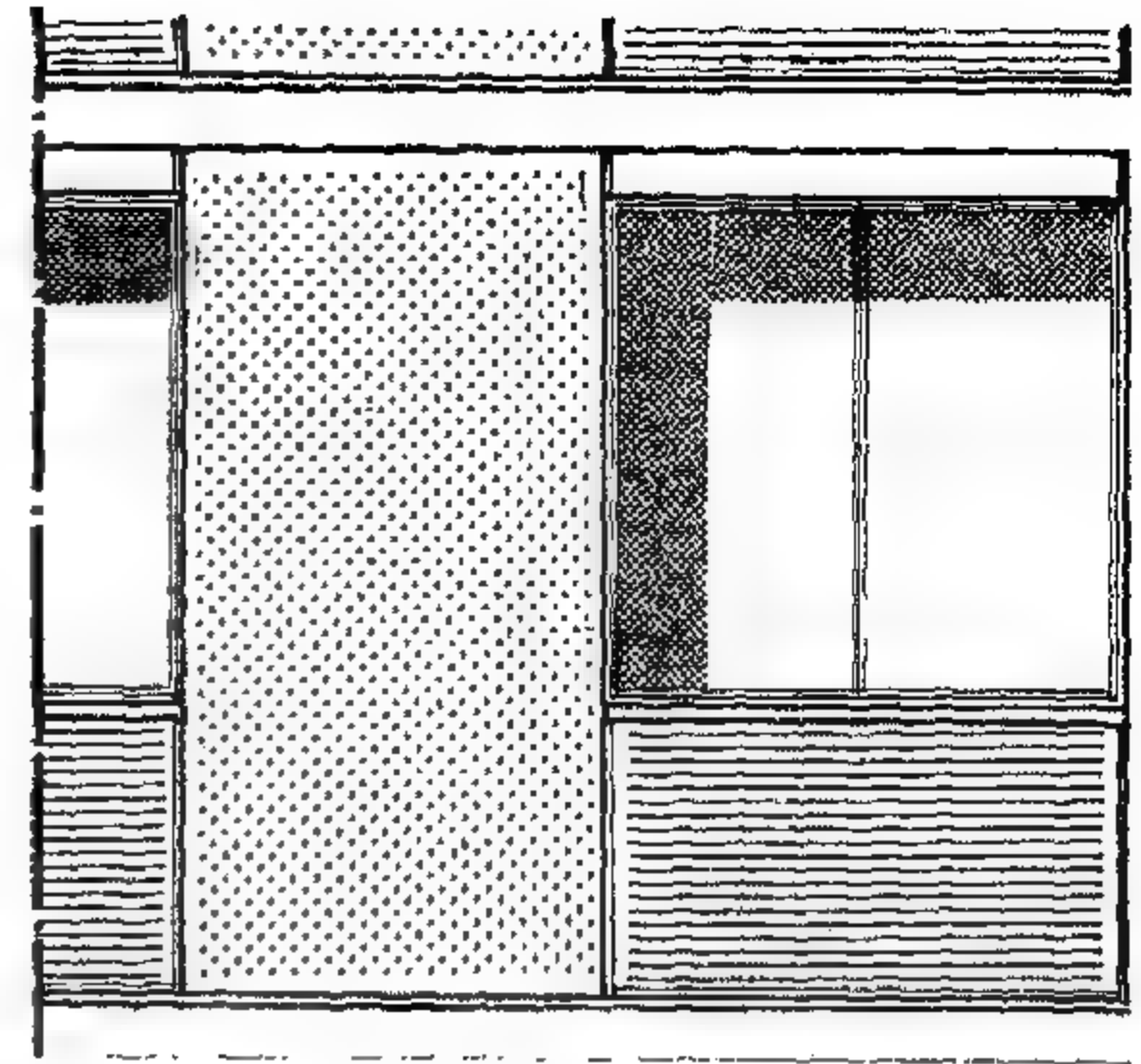
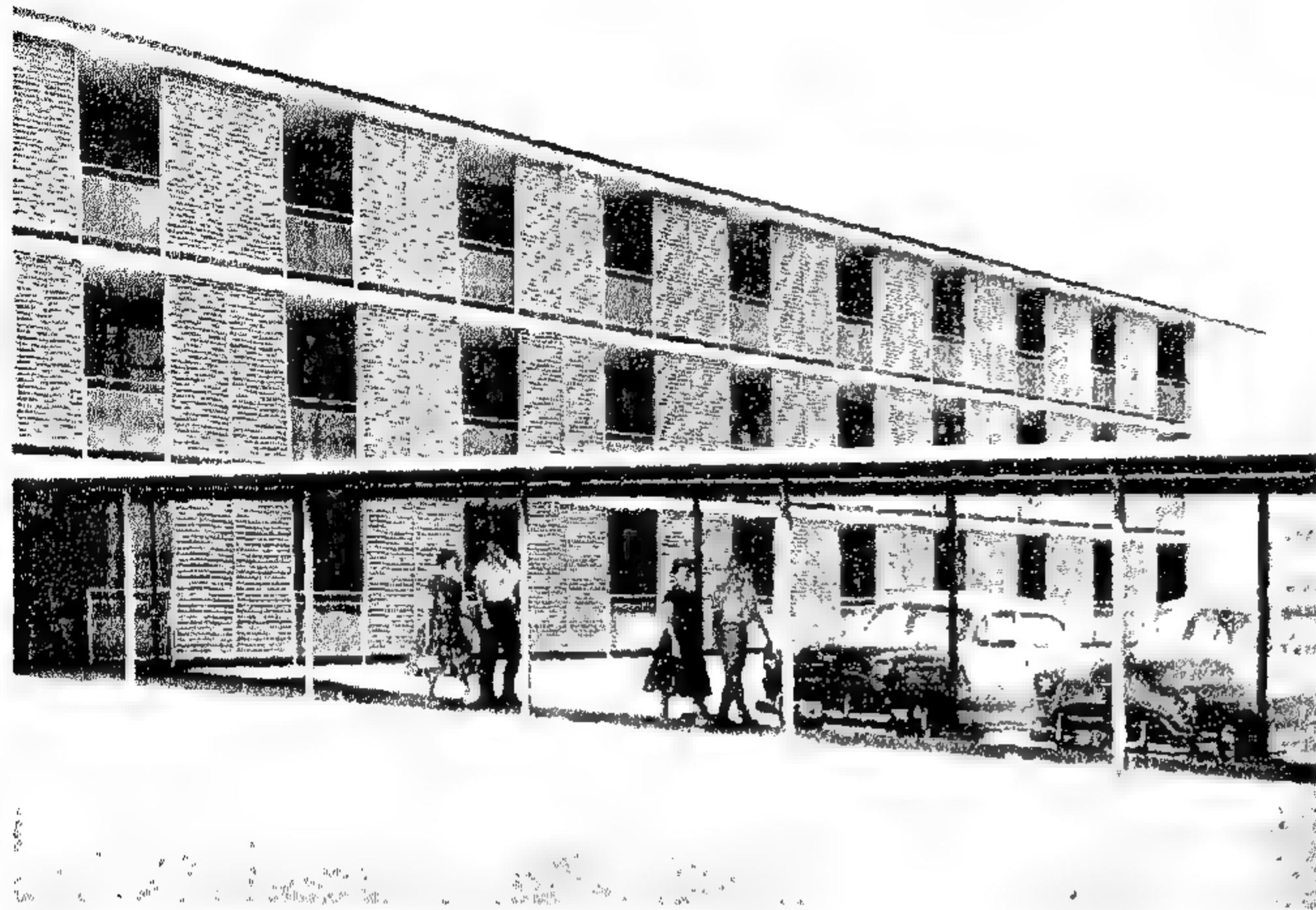


شكل ٥٥٨

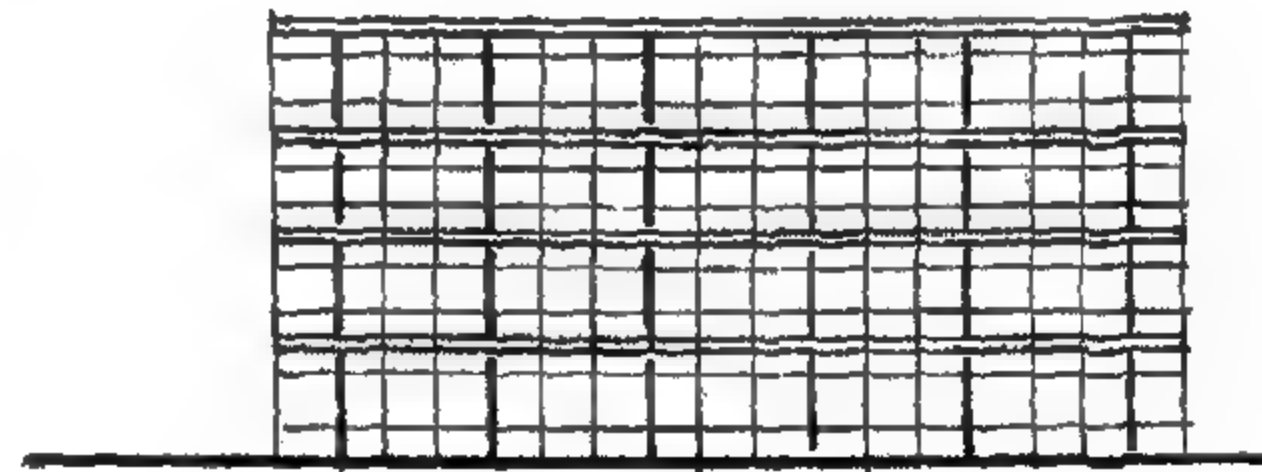


شكل ٥٥٩

الخرسانة كمادة قوية في الانضغاط
 (شكل ٥٥٨) - كوبرى على نهر انجروناث
 في مدينة هامر بالسويد .
 (شكل ٥٥٩) - منظور داخلى في كنيسة
 سانت تيريز في مونتاني .



شكل ٥٦٢

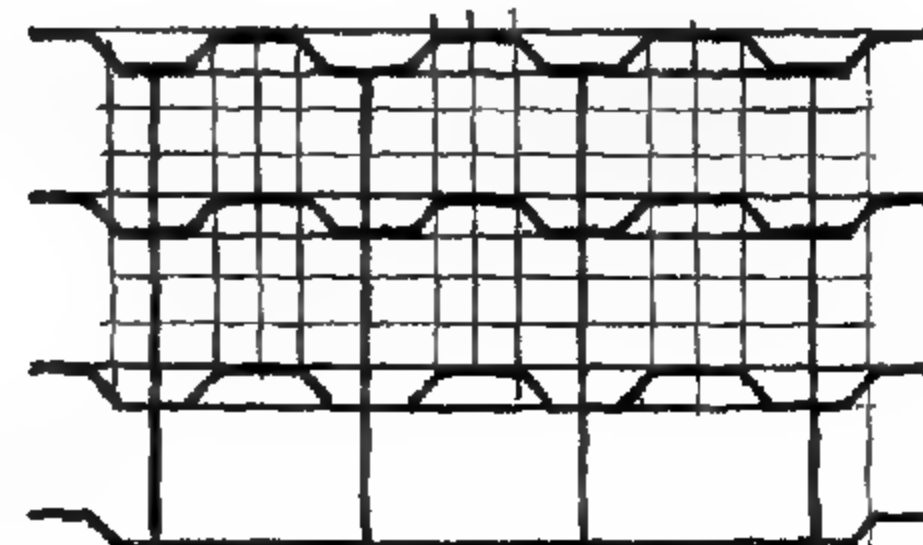
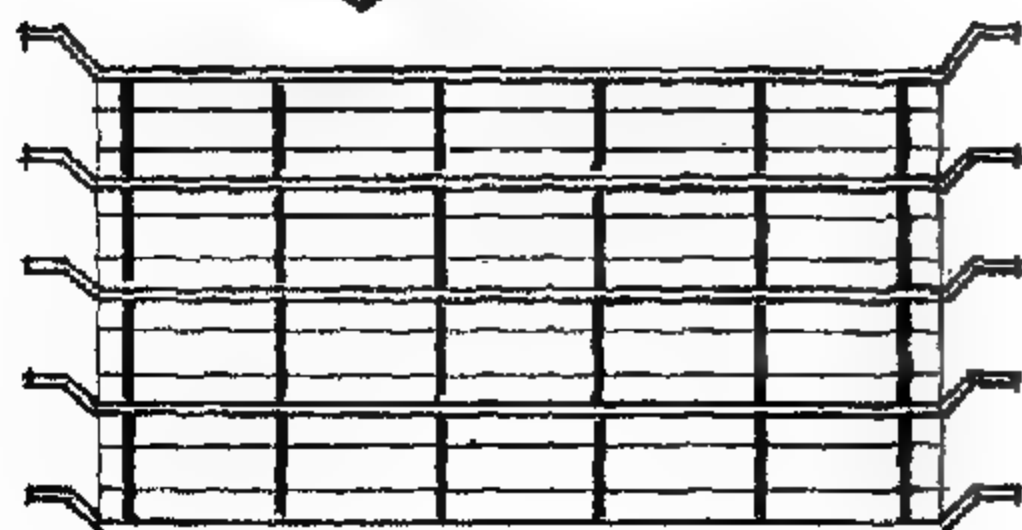


تأثير طريقة الصناعة - سبق التجهيز

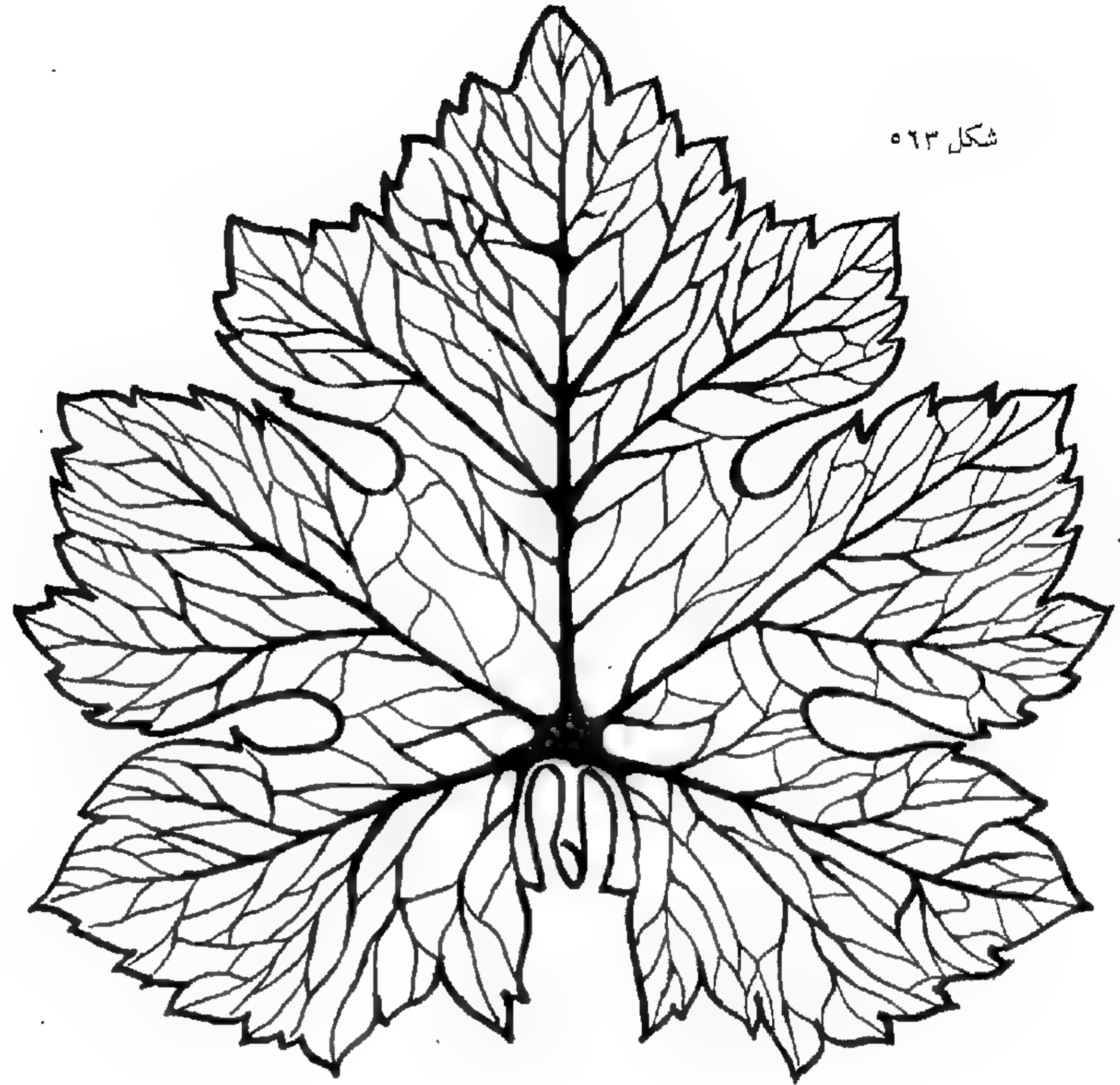
(شكل ٥٦٠) المعالجة التعبيرية
بفتحات في المباني السكنية
الجاهزة.

(شكل ٥٦١) واجهة وحدة من
مساكن الطلبة بجامعة ترينتي
بسان أنطونيو بتكساس .

(طريقة البلاطات المرفوعة) .
(شكل ٥٦٢) اقتراحات واجهات
تؤكد طريقة البلاطات المرفوعة .



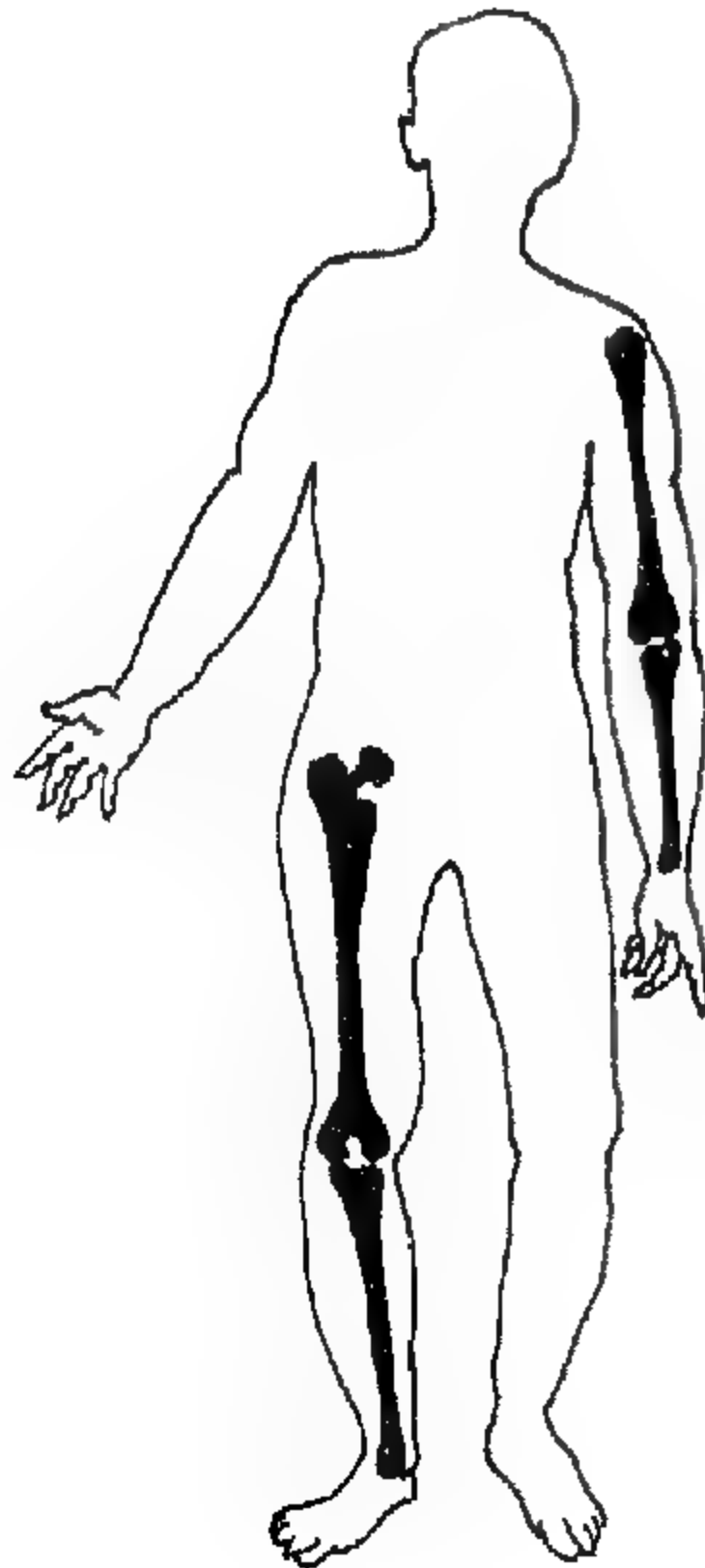
شكل ٥٦٣

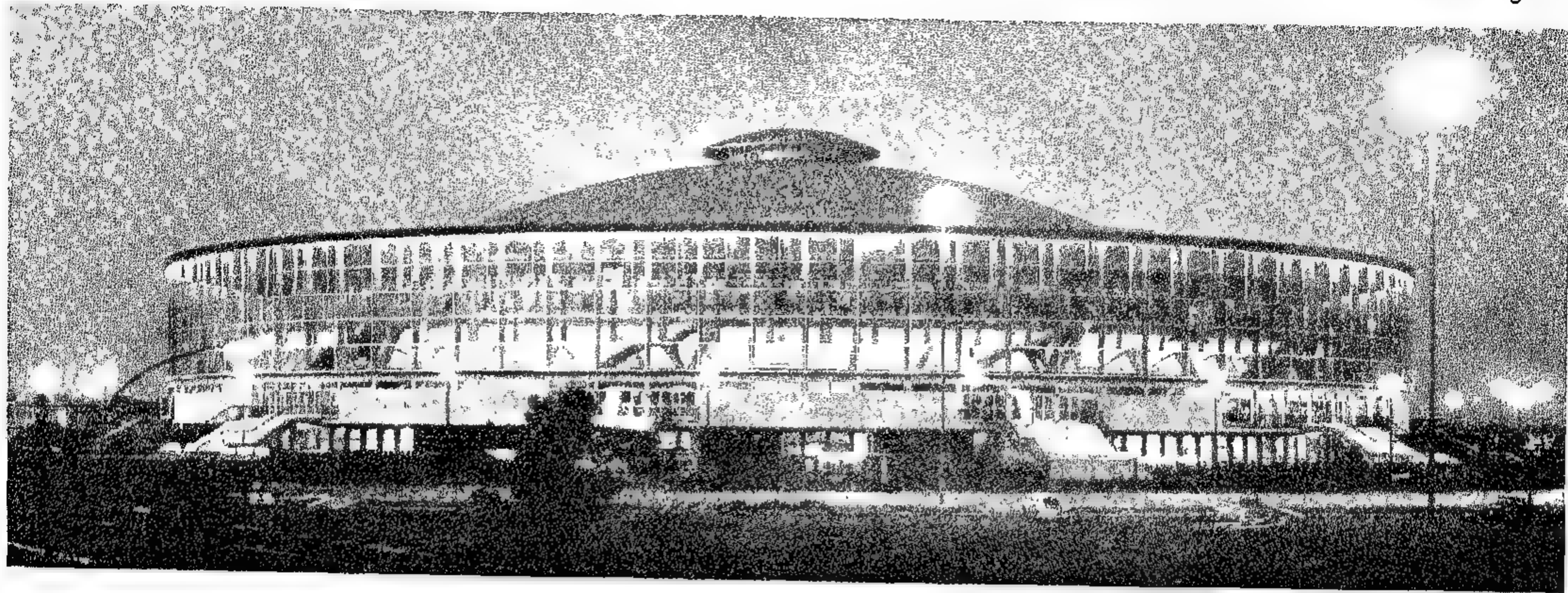


الإنشاء العضوي

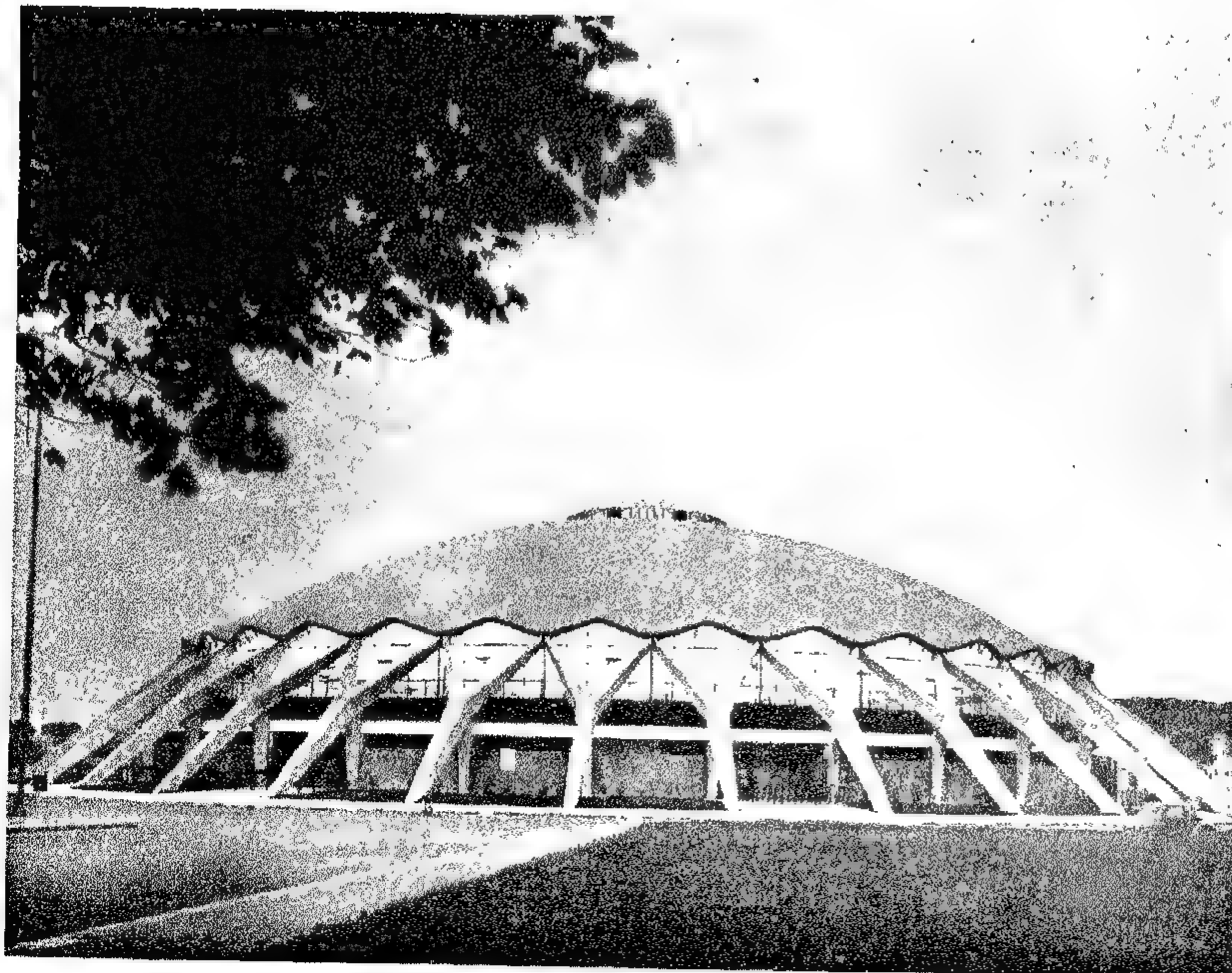
(شكل ٥٦٣) الهيكل مكشوف إلى الخارج
في الشجرة وأوراقها .
(شكل ٥٦٤) الهيكل مكسى بالعضلات
وإبخلد في الإنسان ولكن معبر عنه .

شكل ٥٦٤





شكل ٥٦٦



التعبير عن الحقيقة الإنشائية مقارنة بين اتجاهين

- (شكل ٥٦٥) قصر الرياضة
الكبير في روما - الإنشاء
مخفى وراء أسطوانة زجاجية .
- (شكل ٥٦٦) قصر الرياضة
الصغير في روما - صراحة
ووضوح الفكرة الإنشائية .



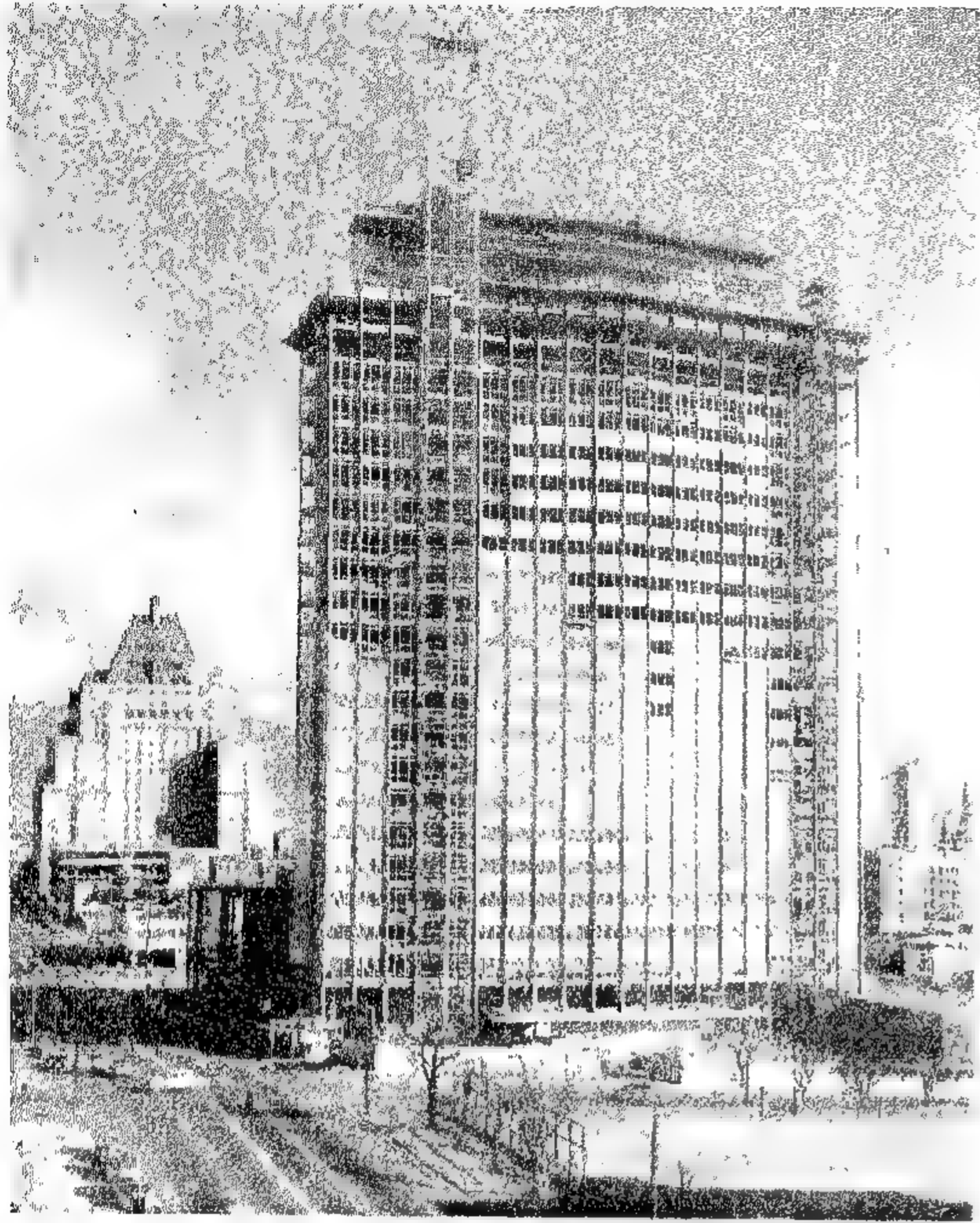
شكل ٥٦٧

طريقة التجميع الإنشائي - الشكيلات الخطية الرأسية

(شكل ٥٦٧) كنيسة القديس موريتيوس في ساربروكن
بألمانيا . (المصمم ألبرت ديتز) .

(شكل ٥٦٨) كنيسة فيجروز بجزائر الفلبين .
(المهندسان ريموند وراشو) .





شكل ٥٦٩

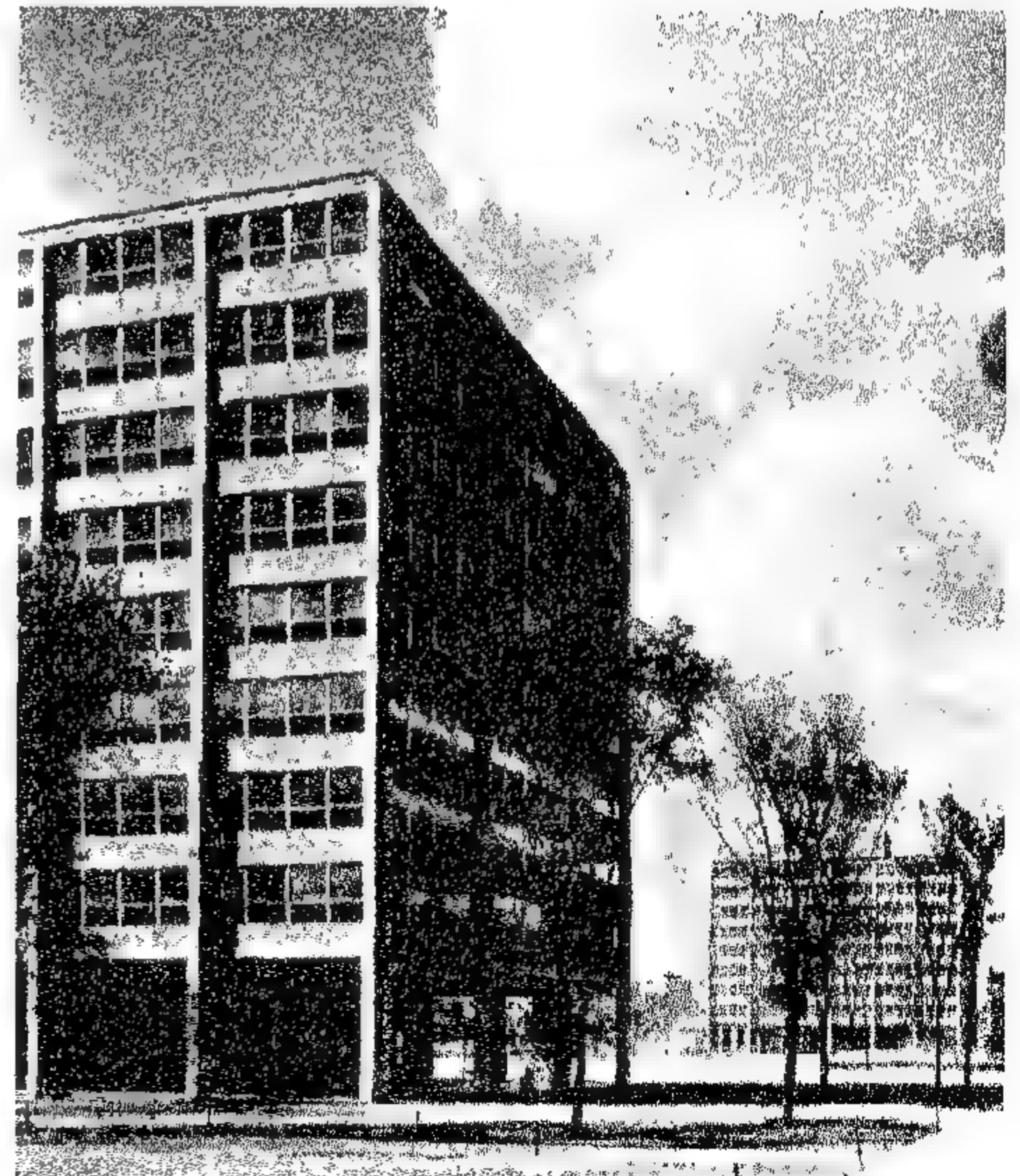
طريقة التجميع الإنشائي الخطي - التأكد الرأسي

(شكل ٥٦٩) المركز الرئيسي لشركة كهرباء برتش

كولومبيا بفانكوفر ، بكولومبيا البريطانية .

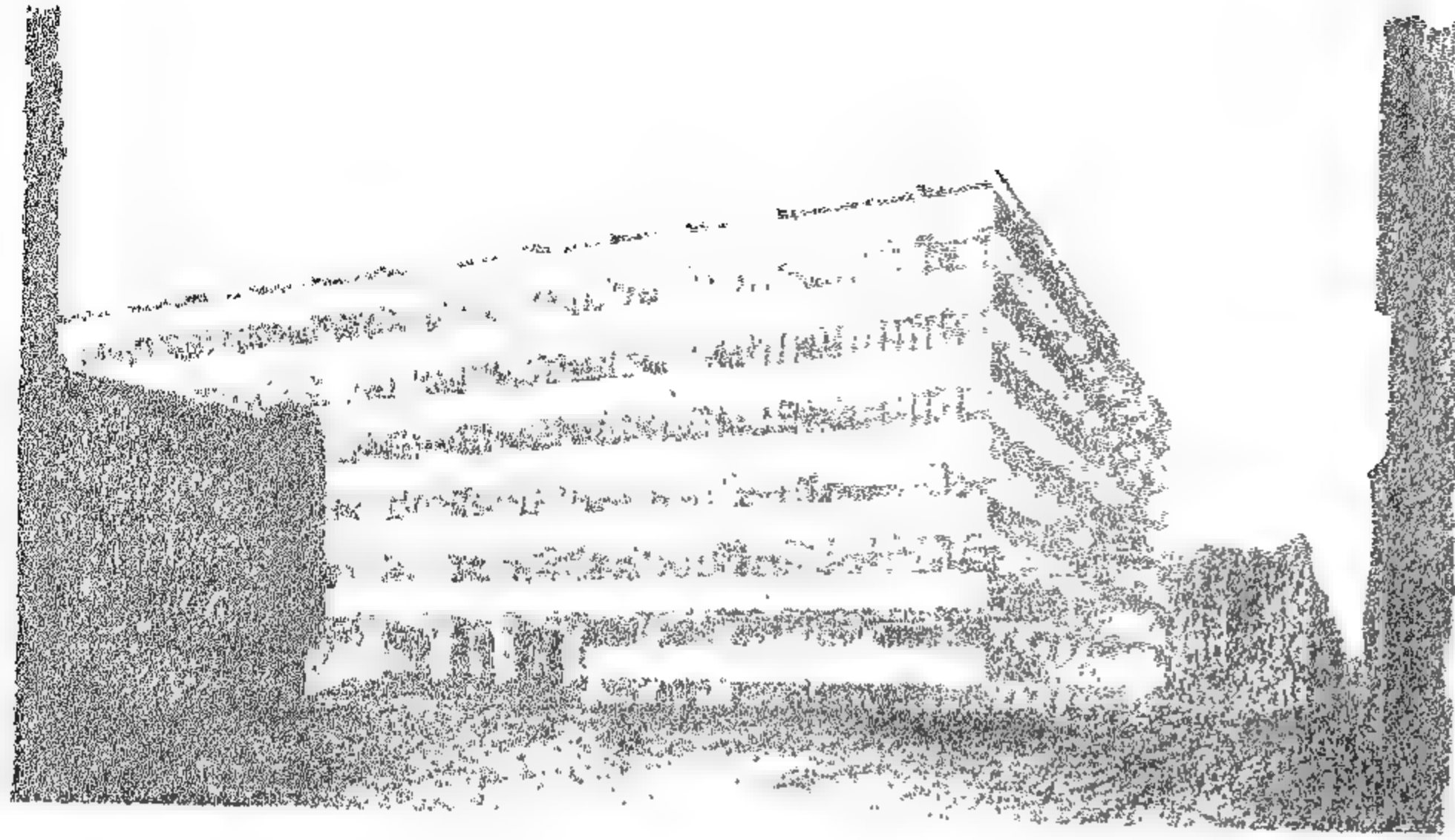
(شكل ٥٧٠) مشروع لمبارة سكنية بشيكاجو سنة ١٩٤٦

(المهندس المعماري / ميزقان ديرويه) .



شكل ٥٧٠

شكل ٥٧١



شكل ٥٧٢



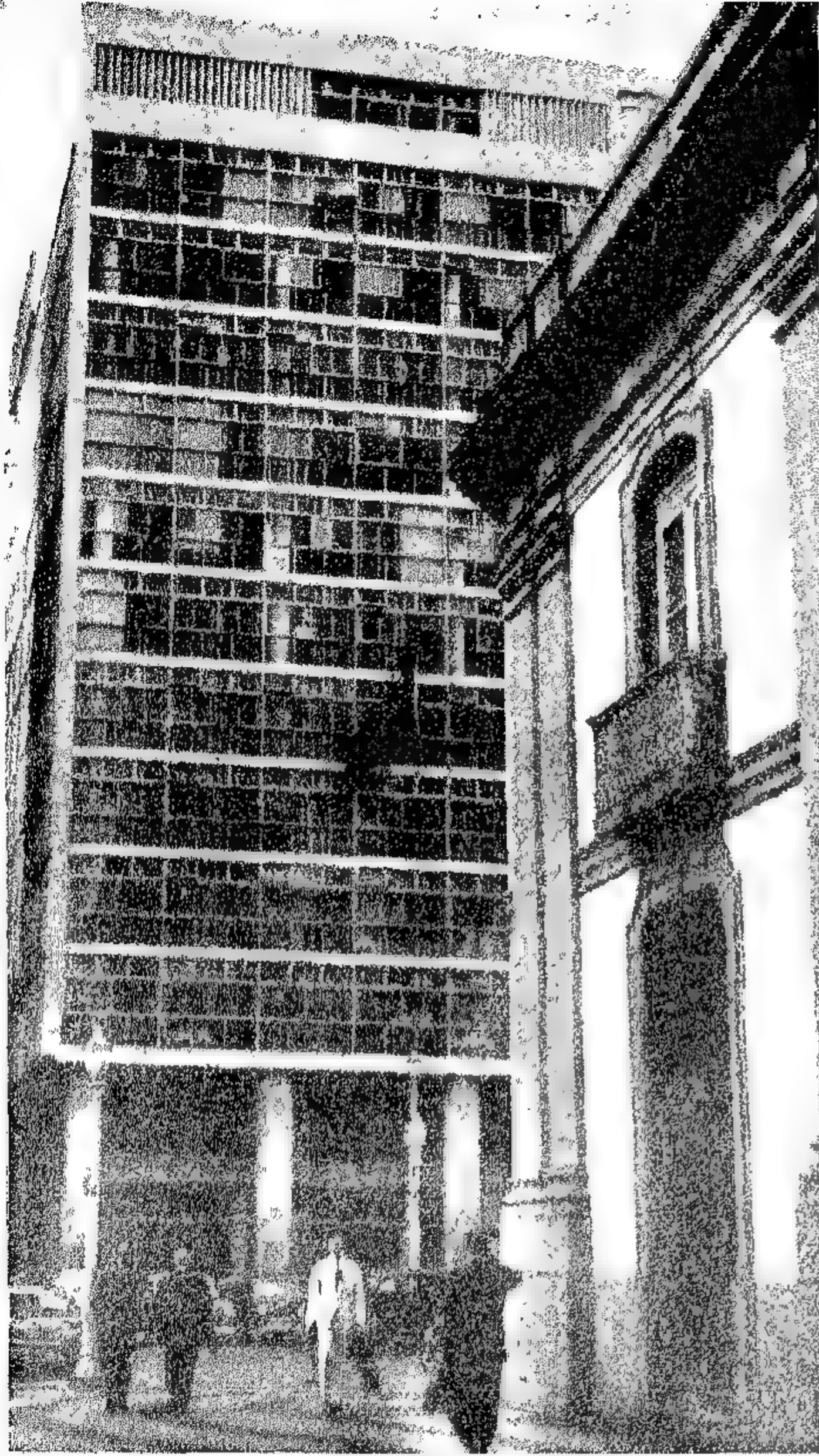
طريقة التجميع الإنشائي - التشكيلات
الخطية - التأكيد الأفقي

(شكل ٥٧١) - مشروع مبنى مكاتب
بالخرسانة المسلحة .

(المهندس / ميزقان ديروه سنة ١٩٢٢)
(شكل ٥٧٢) - مبنى شركة سيكيوروس
بوليفار بيوجوتا - كولومبيا (المهندسون
كويلار وسيرانو وجوميز وشركاهم) .

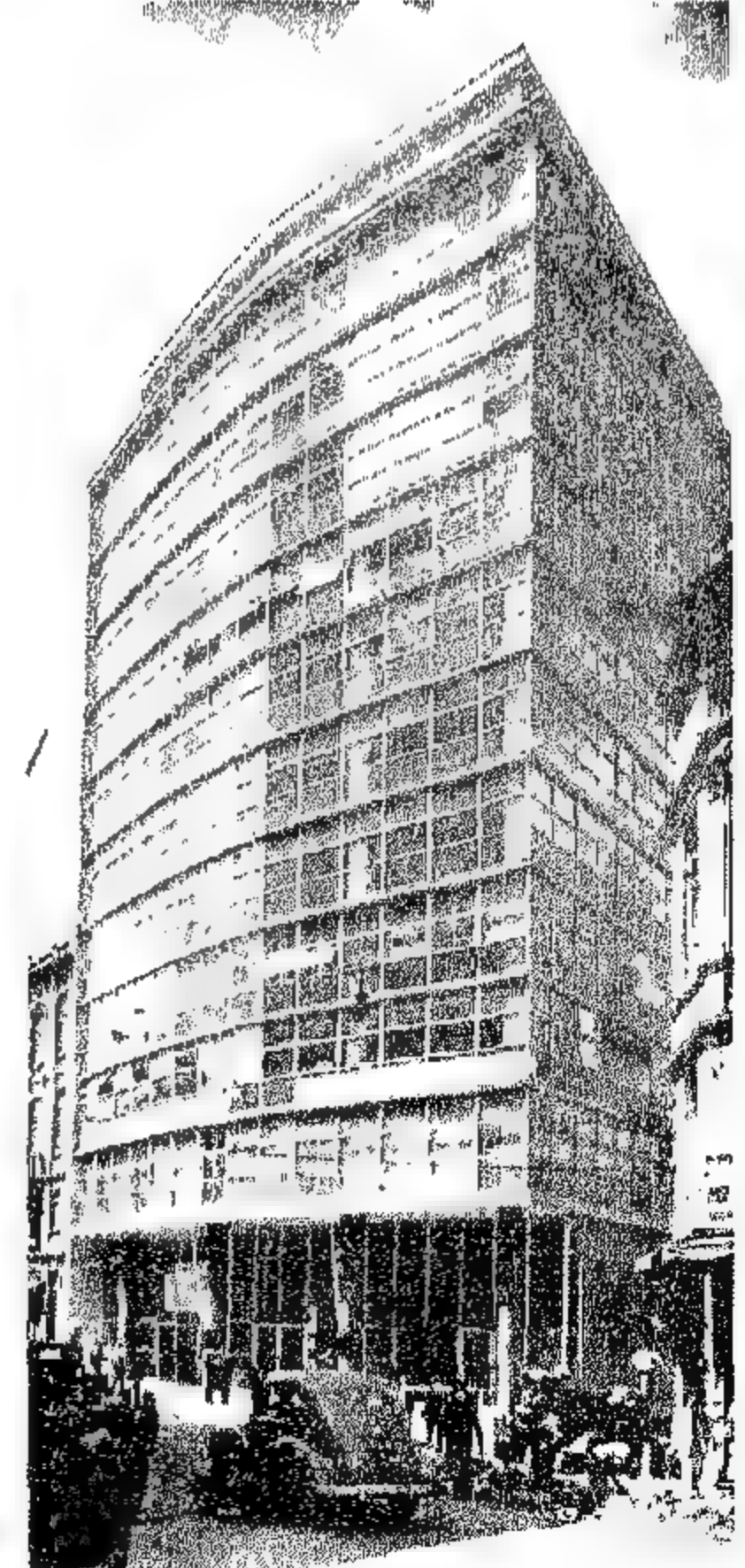


شكل ٥٧٤



شكل ٥٧٥

شكل ٥٧٦



طريقة التجميع الإنشائي - التأكيد الأفقي

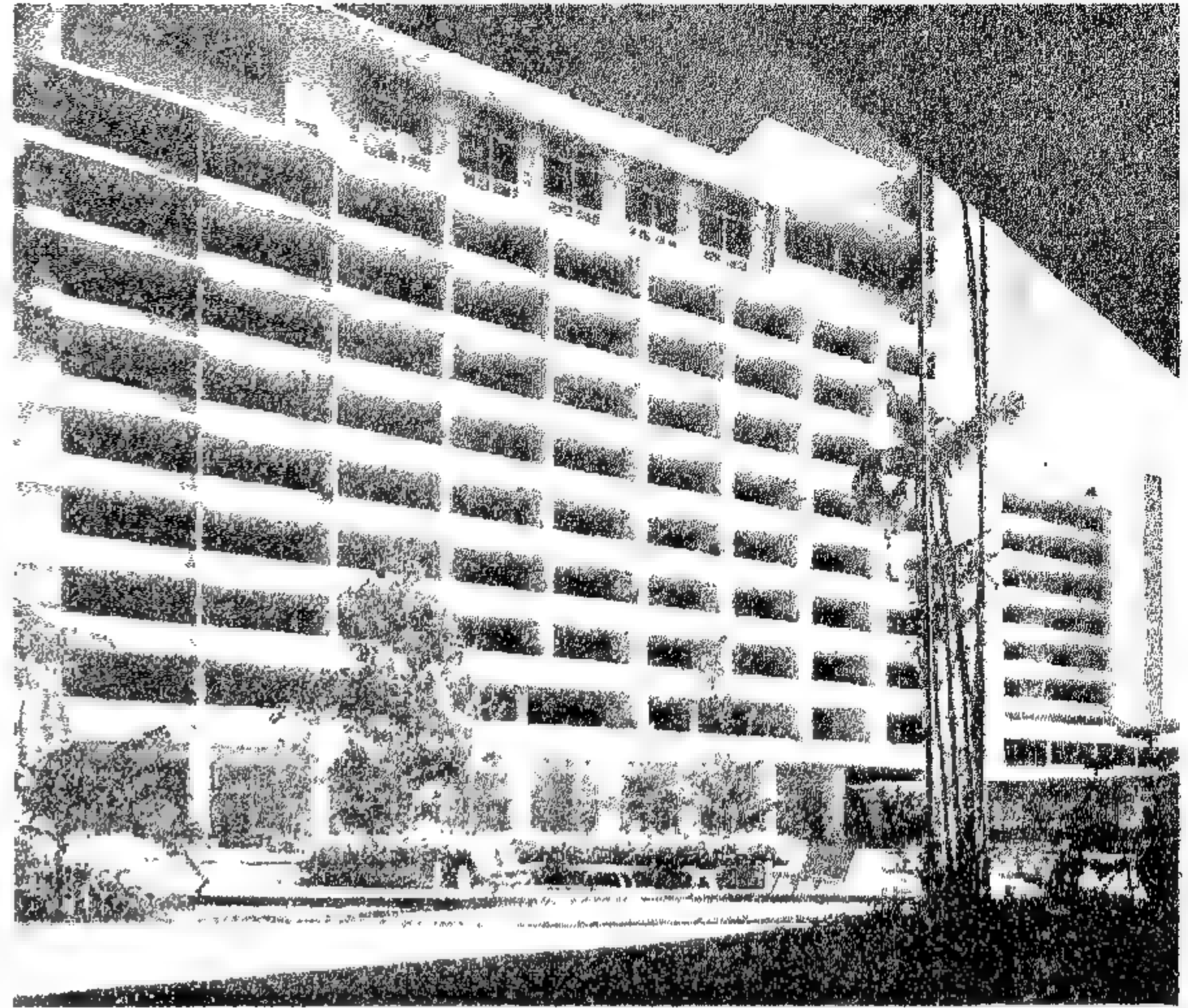
(شكل ٥٧٣) منزل الطلبة السويسريين بجامعة باريس . الواجهة البحرية (المهندس المعماري - لوكوربوزيه) .

(شكل ٥٧٤) بنك بوليسا دي كوميرسيو سان باولو - البرازيل سنة ١٩٤٧ - ١٩٤٨ (المهندس المعماري رينولتي) .

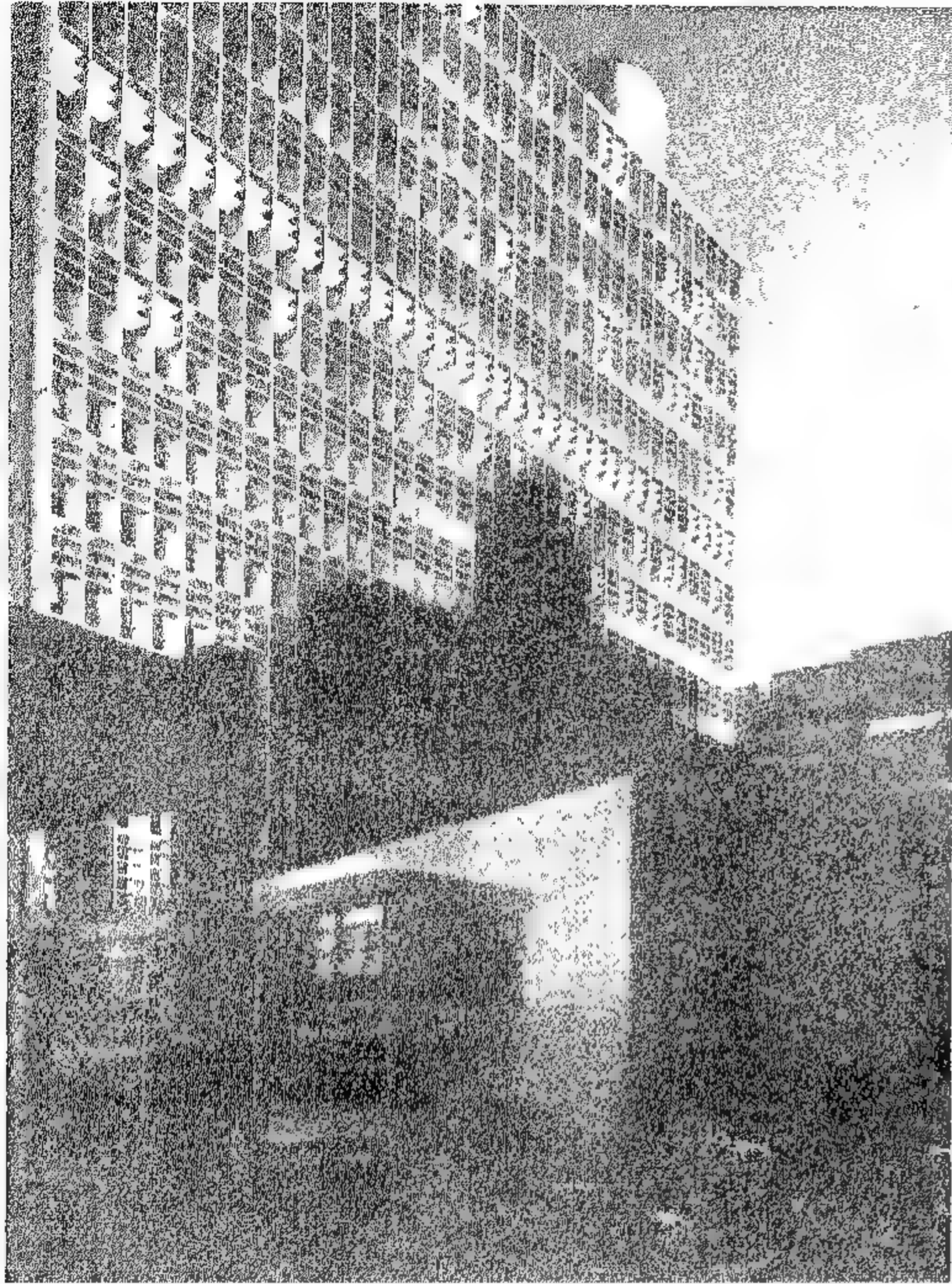
(شكل ٥٧٥) عمارة بنك باؤيسا في ريودي جانيرو . المهندس المعماري اوسكار نيماير سنة ١٩٤٦ .

(شكل ٥٧٦) عمارة E.M.S.A في يوفس ايرس بالأرجنتين . (المهندسان المعماريان روفائيل ولويس جرازياي) .

شكل ٥٧٧



شكل ٥٧٩

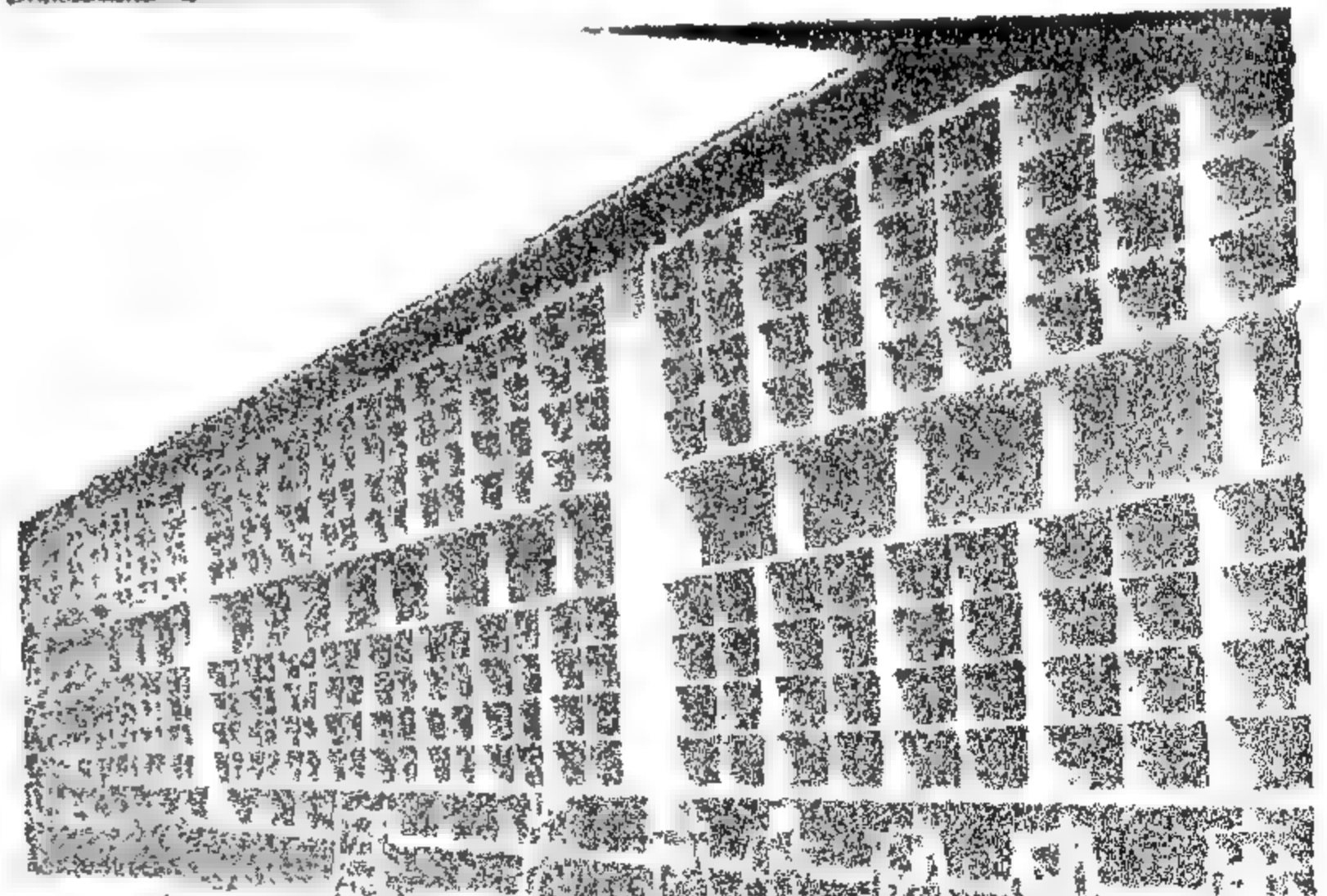
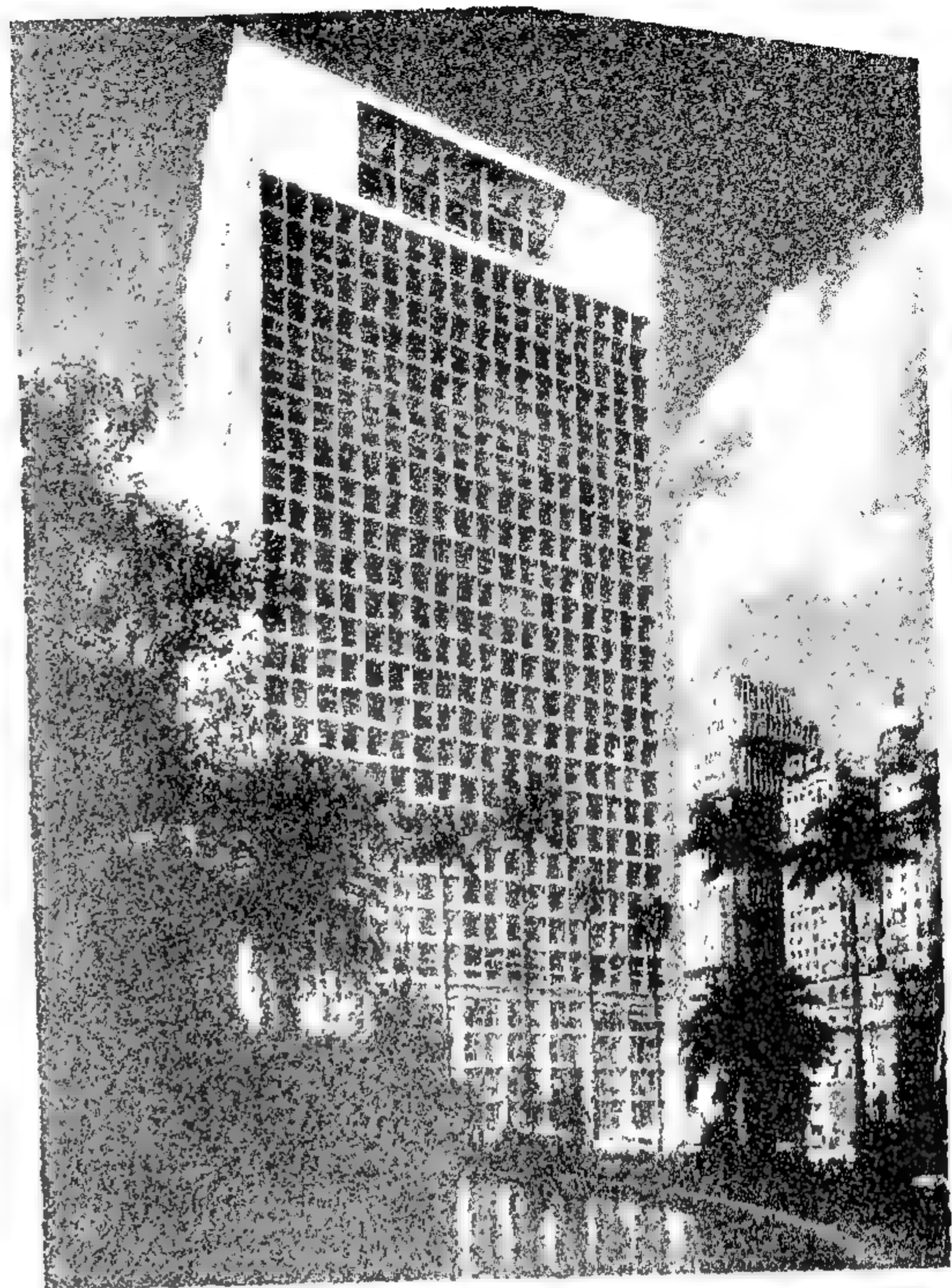
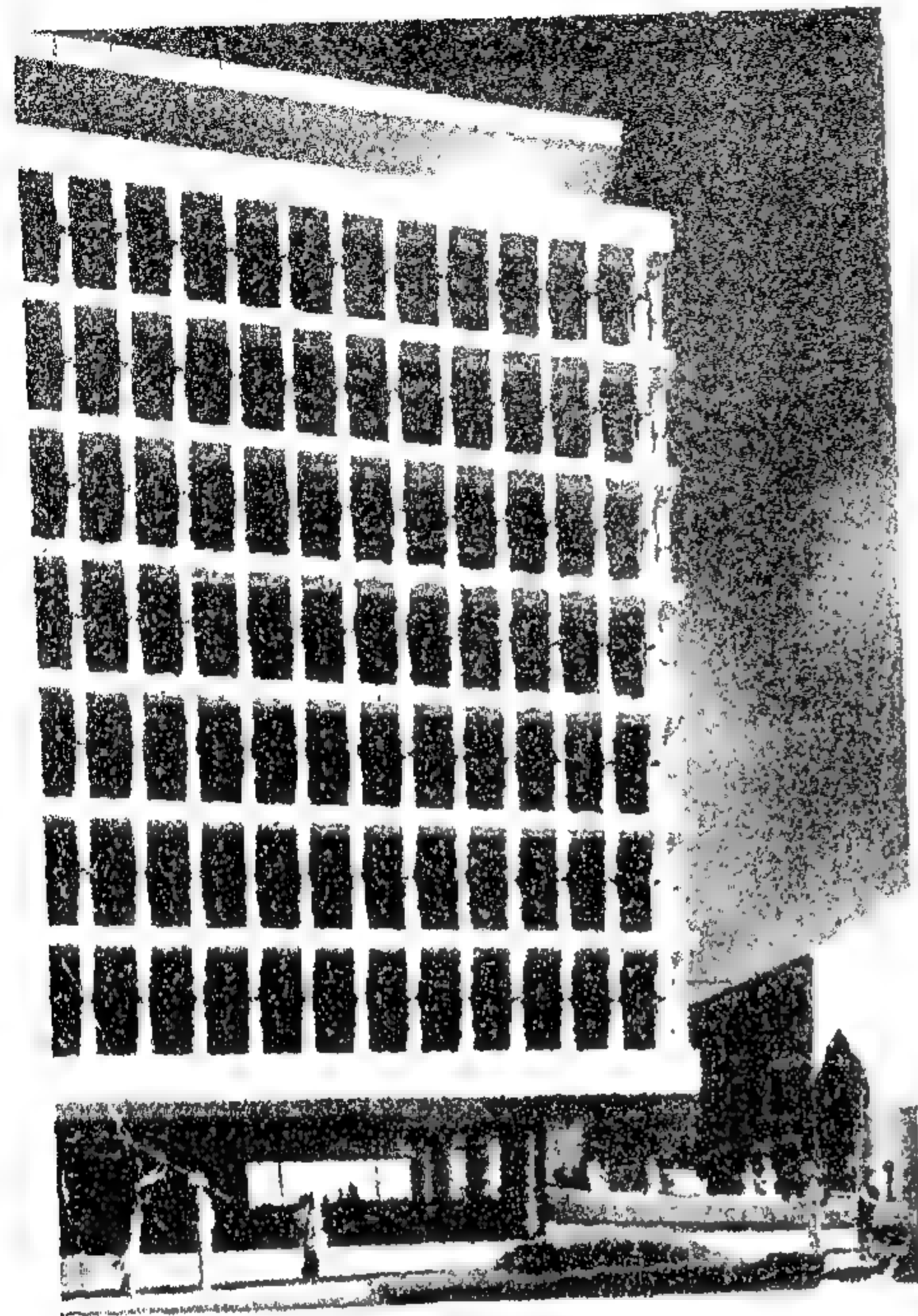


شكل ٥٧٨



طريقة التجميع الإنشائي الخطي - التأكيد الشبكي

- (شكل ٥٧٧) فندق بناما (المهندس المعماري إدوارد ستون) .
- (شكل ٥٧٨) عمارات سكنية في باركي كوينستا (المهندس المعماري لوسيو كوستا) .
- (شكل ٥٧٩) وزارة التعليم والصحة - ريو دي جانيرو .



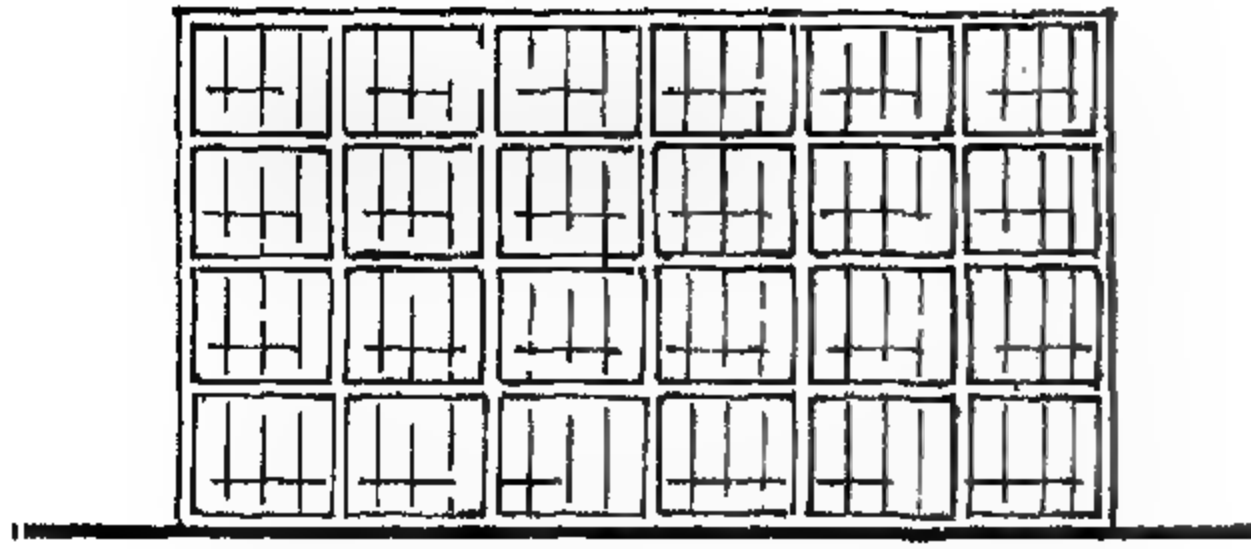
طريقة التجمعي الإنشائي - التأكيد الشبكي

(شكل ٥٨٠) مبنى C.I.B. في سان باولو بالبرازيل . المهندس المعماري كورن جول

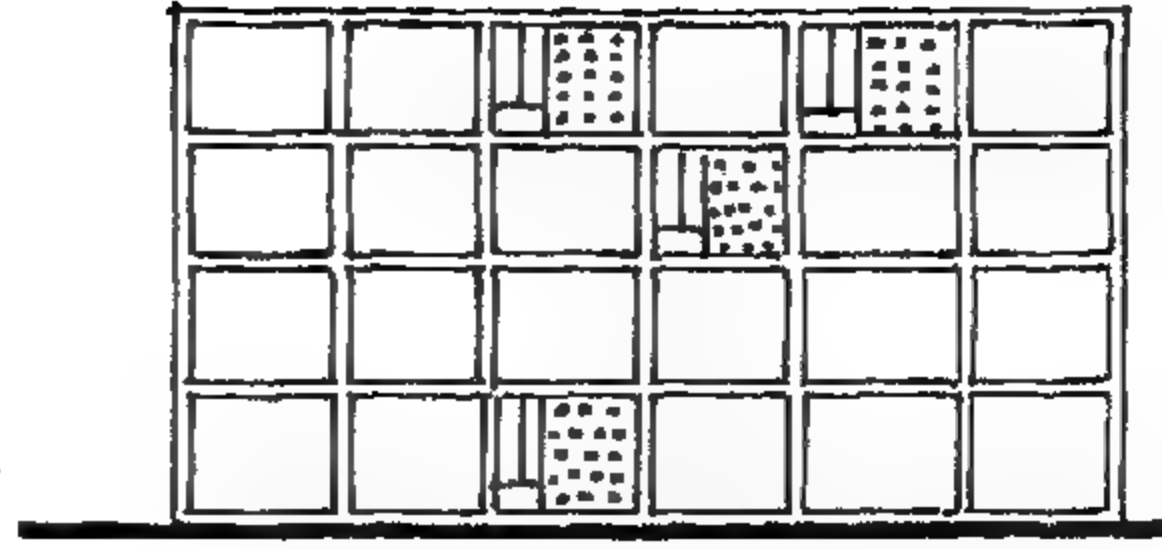
(شكل ٥٨١) واجهة مبنى قاعات المحاضرات في جامعة عبدان بنيجيريا (المهندسان المعماريان ماكسويل فراي وجان دروبلندن) .

(شكل ٥٨٢) المقر الرئيسي لبنك لامبرت بروكسل (المهندسون المعماريون سكدمور وأوين ويمريل والإنشائي ويدلنجر) .

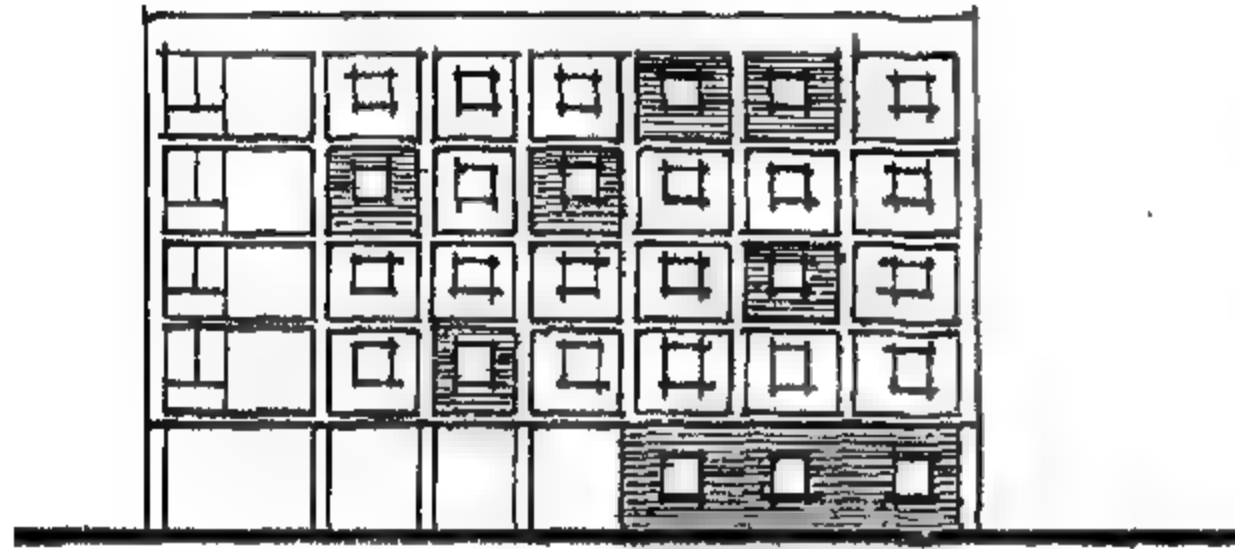
شكل ٥٨٣



شكل ٥٨٤



شكل ٥٨٥



شكل ٥٨٦



شكل ٥٨٧

تأكيد الإنشاء الصندوقي — دور المسطحات غير الفعالة

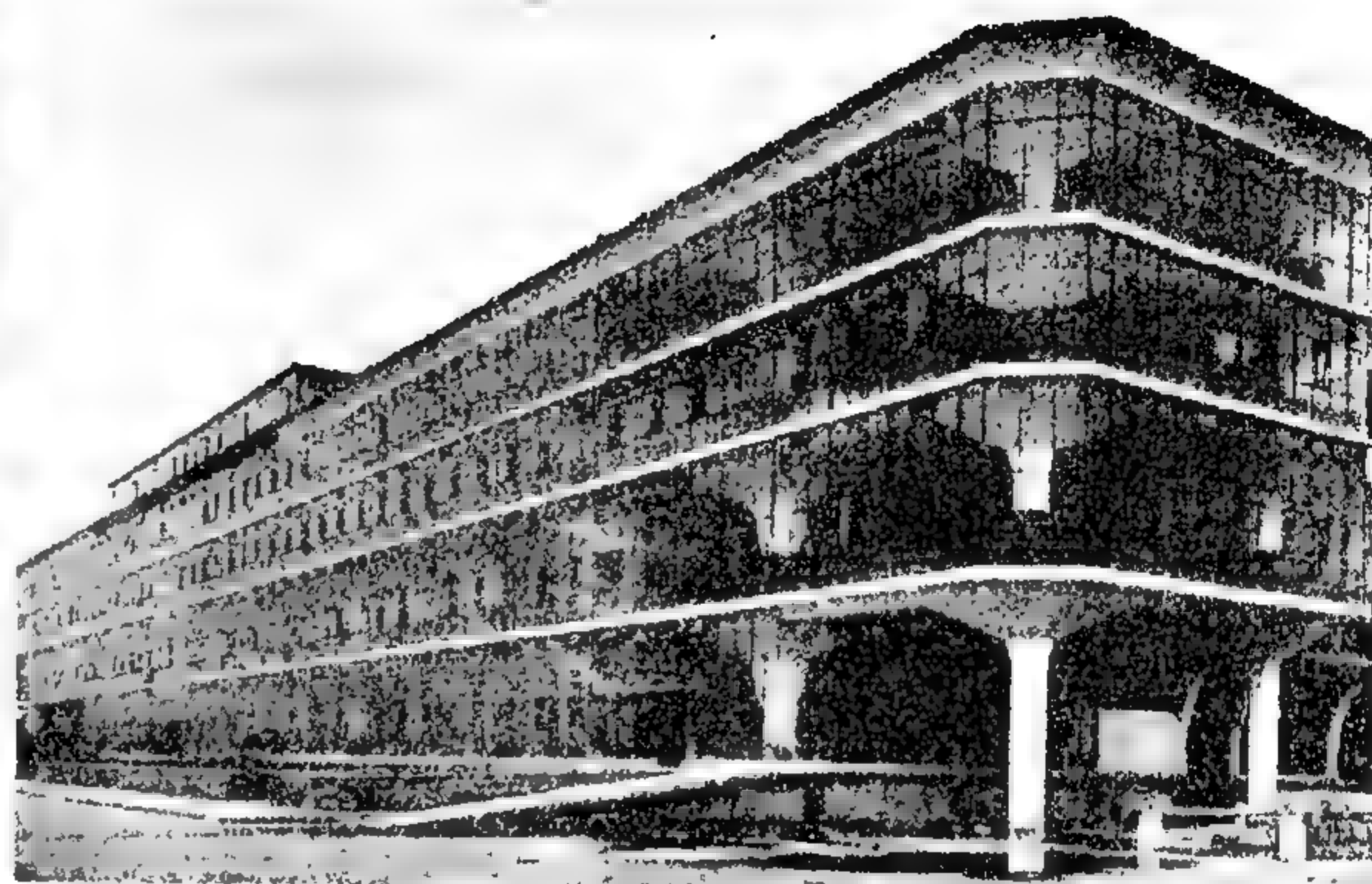
- (شكل ٥٨٣) واجهة صندوقية ذات حائط خارجي غير فعال من الزجاج.
- (شكل ٥٨٤) أسطح غير فعالة من مخزعات خرسائية أو فخارية.
- (شكل ٥٨٥) مشروع منزل طلبة في لندن من الطوب (المهندس المعماري ليونارد مايكلز).
- (شكل ٥٨٦) عمارة سكنية من فيلات في شارع كنسور بلندن.
- (شكل ٥٨٧) عمارة هايوينت في هاييجت بلندن.

تأكيد الإنشاء بالأعمدة المشرومية

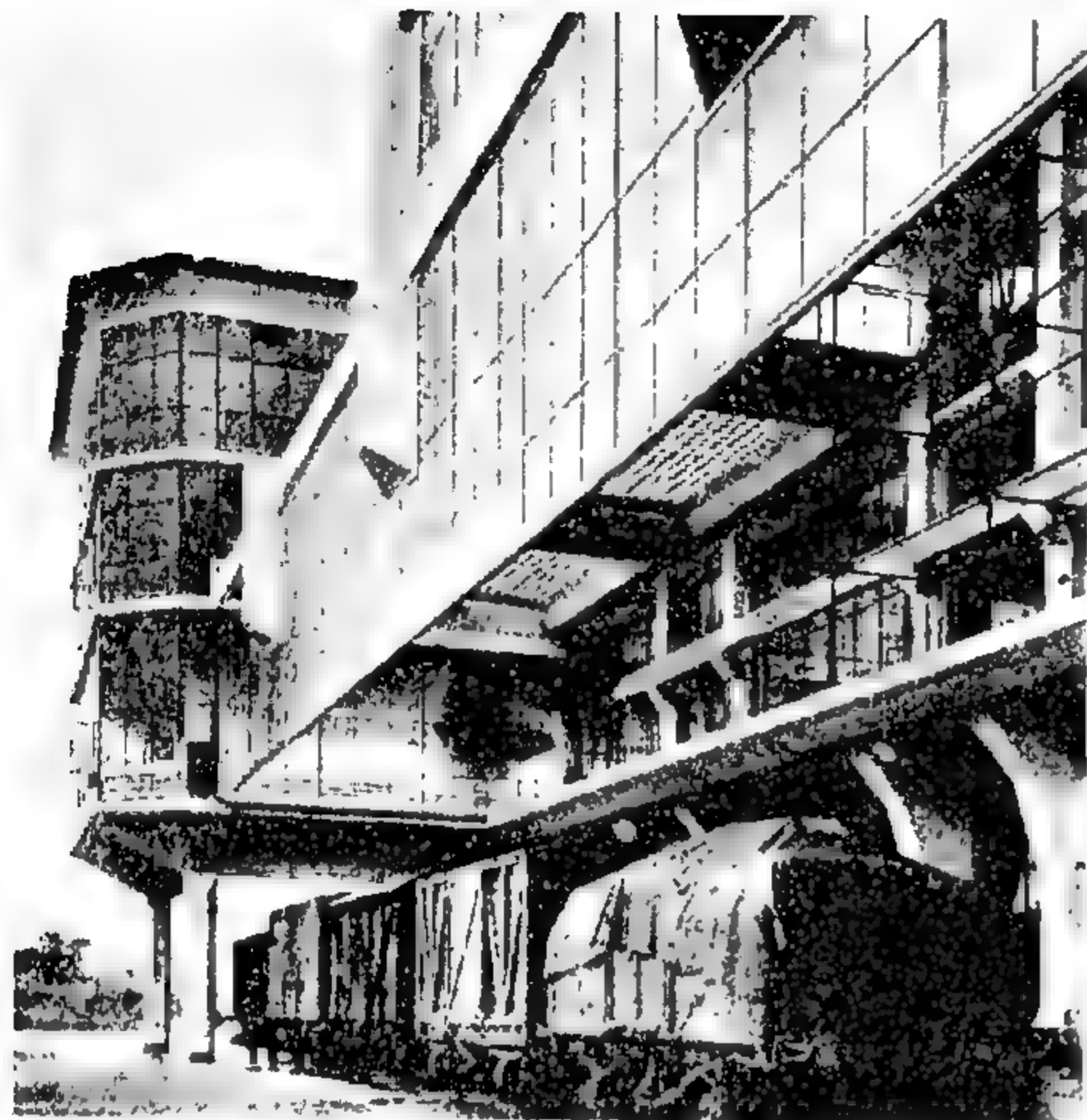
- (شكل ٥٨٨) مصانع شركة بوتزيبور درج في بيسن بإنجلترا — واجهة أمامية.
- (شكل ٥٨٩) واجهة جانبية بالمصانع المذكورة.
- (شكل ٥٩٠) مصانع فان نل برتردام بهولندا.



شکل ۵۸۸

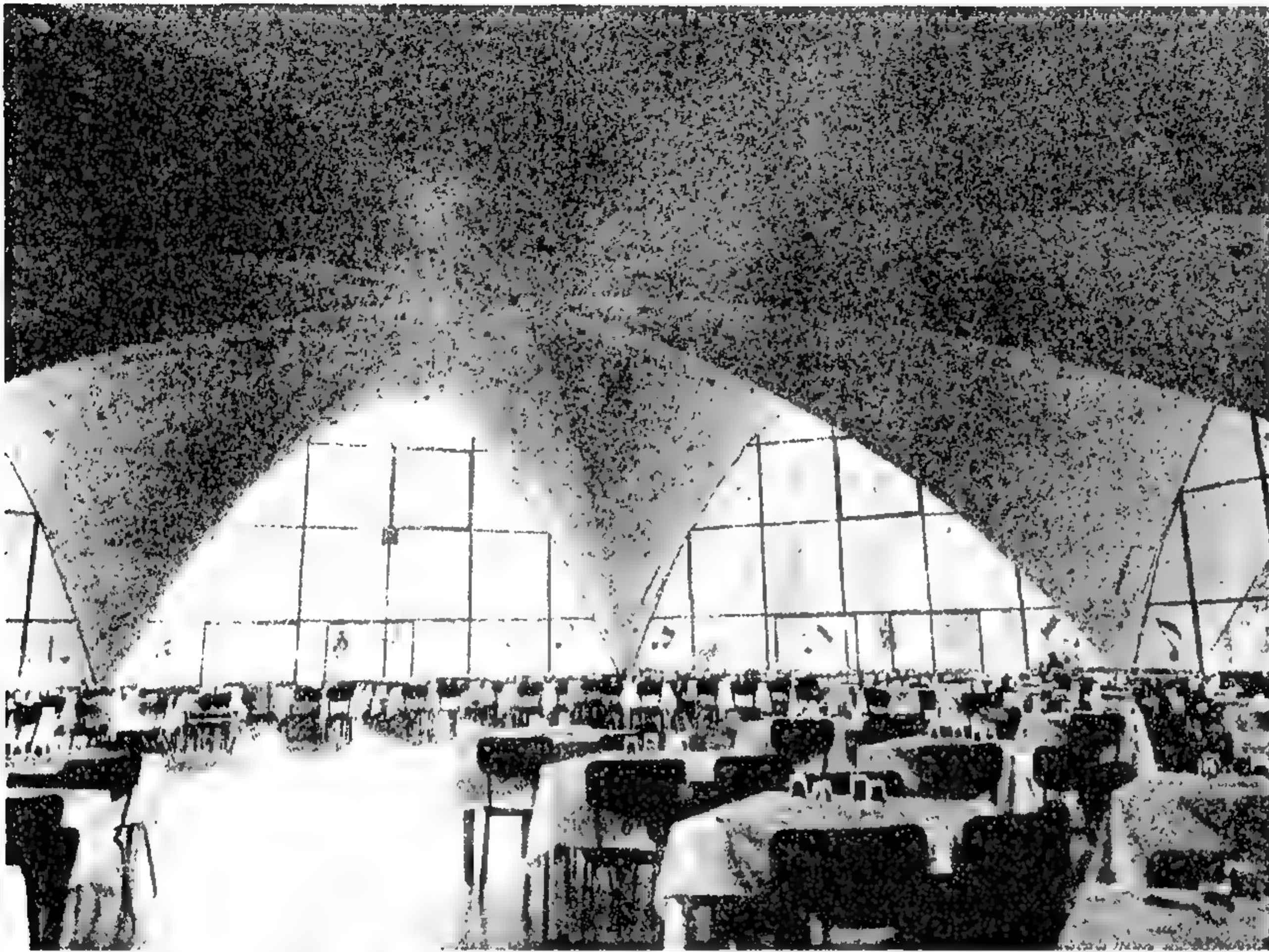


شکل ۵۸۹



شکل ۵۹۰

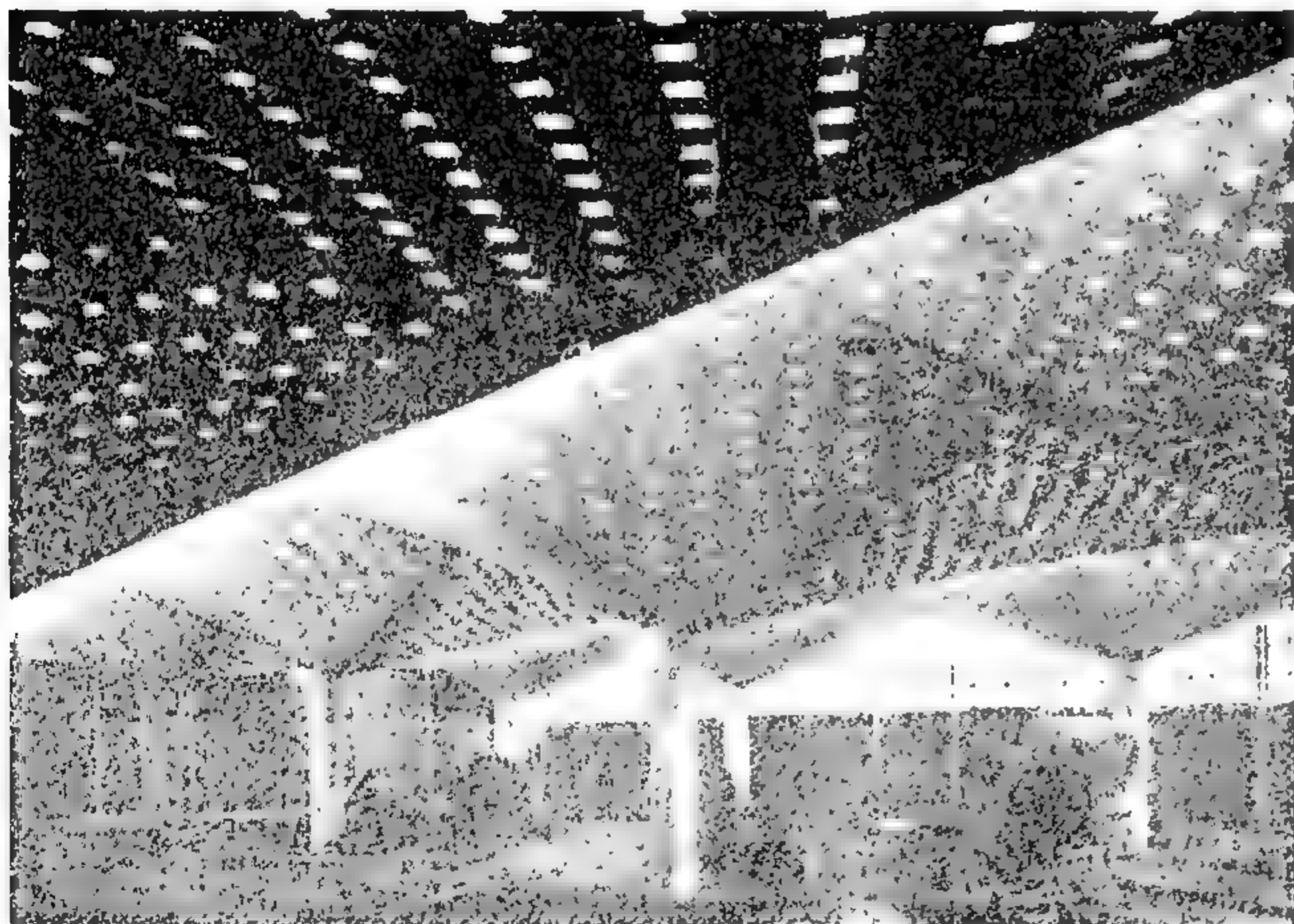




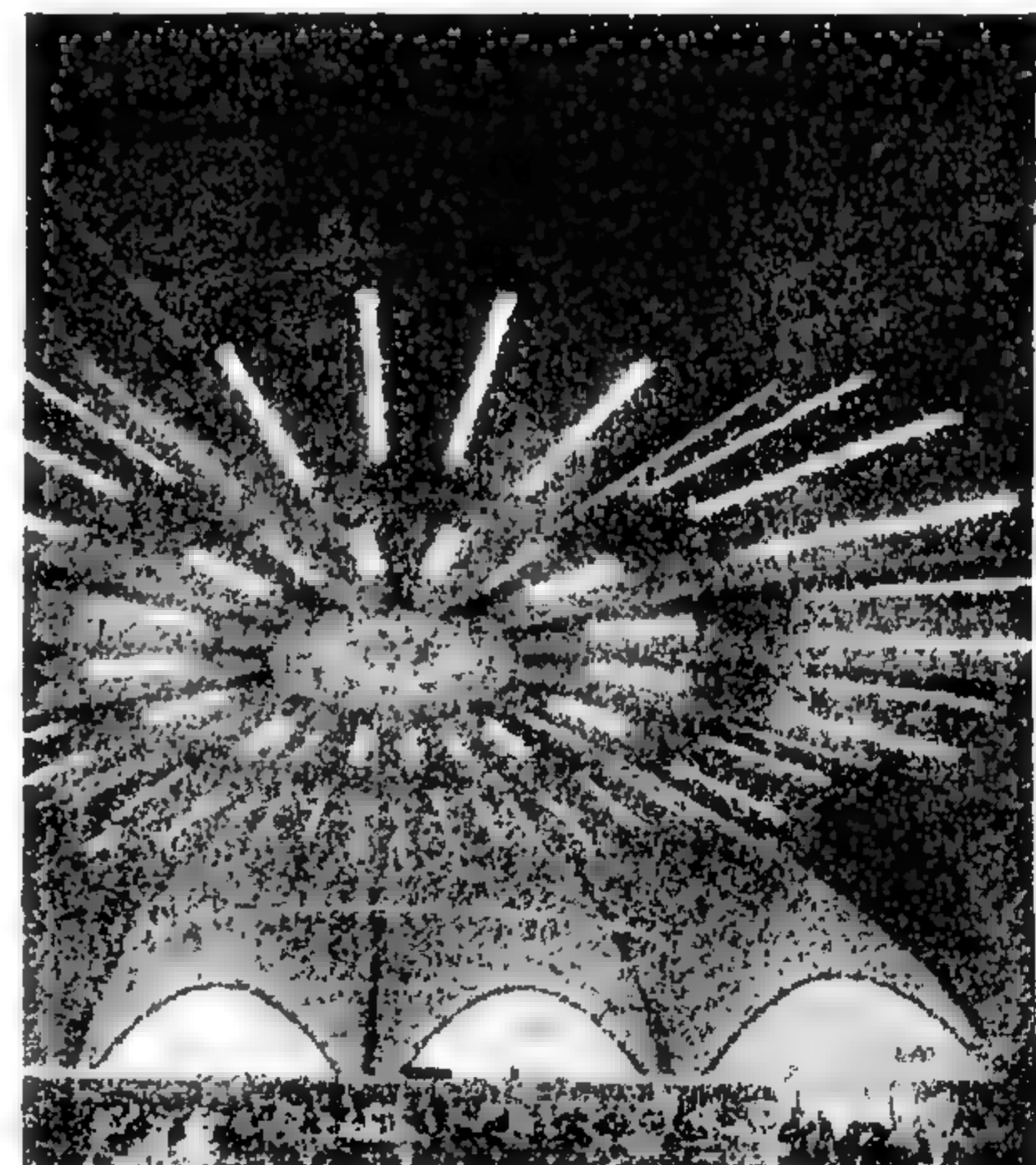
تأكيد الإنشائي القشري - دور الفتحات

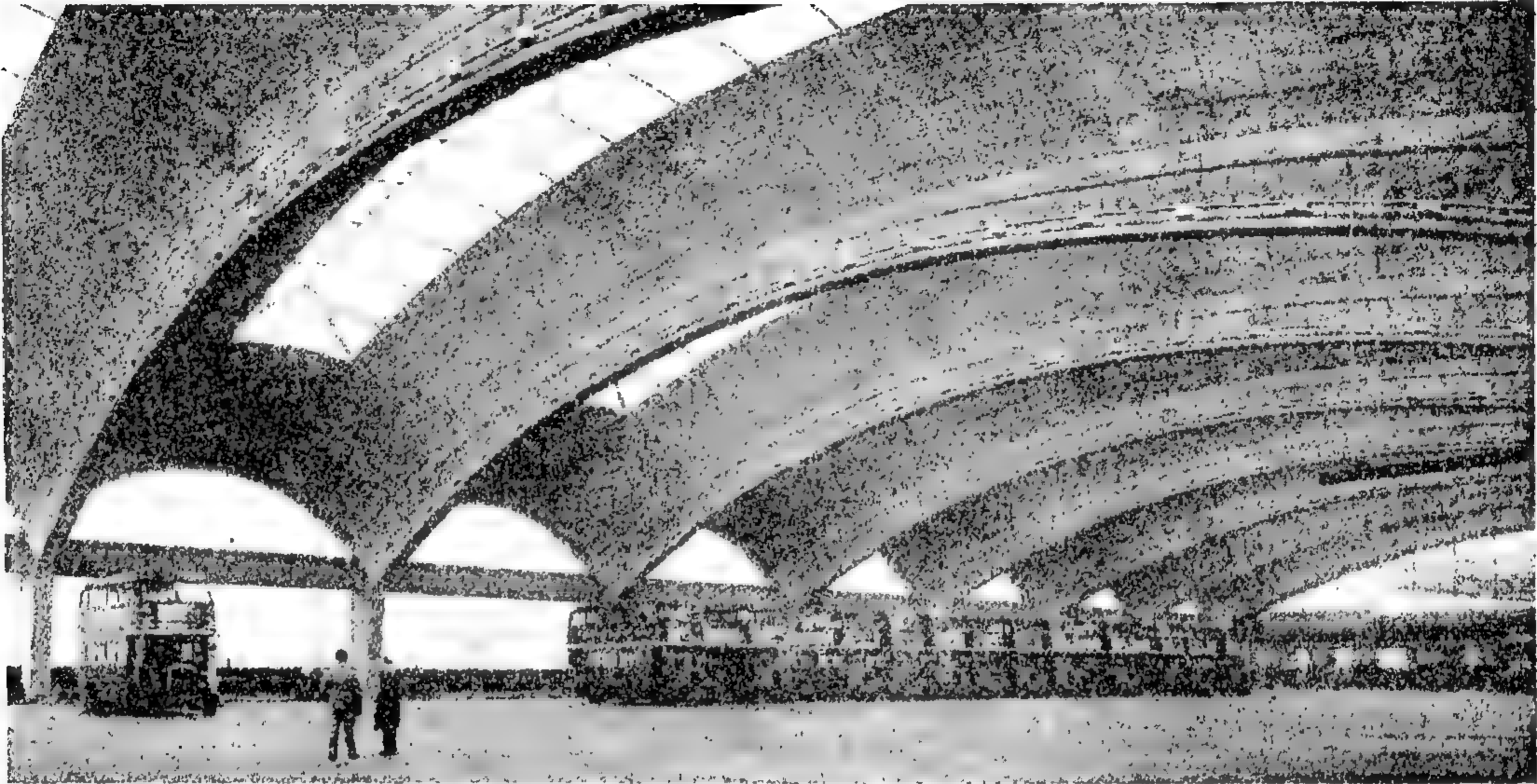
(شكل ٥٩١) منظور داخل في
مطعم لوين مانتيفالس بمدينة
أكوشيميلكو بمكسيكو .
(شكل ٥٩٢) مخزن مكسيكي
من تصميم كاندلا .
(شكل ٥٩٣) صالة سوق رويان
بفرنسا - منظور داخل .

شكل ٥٩٢



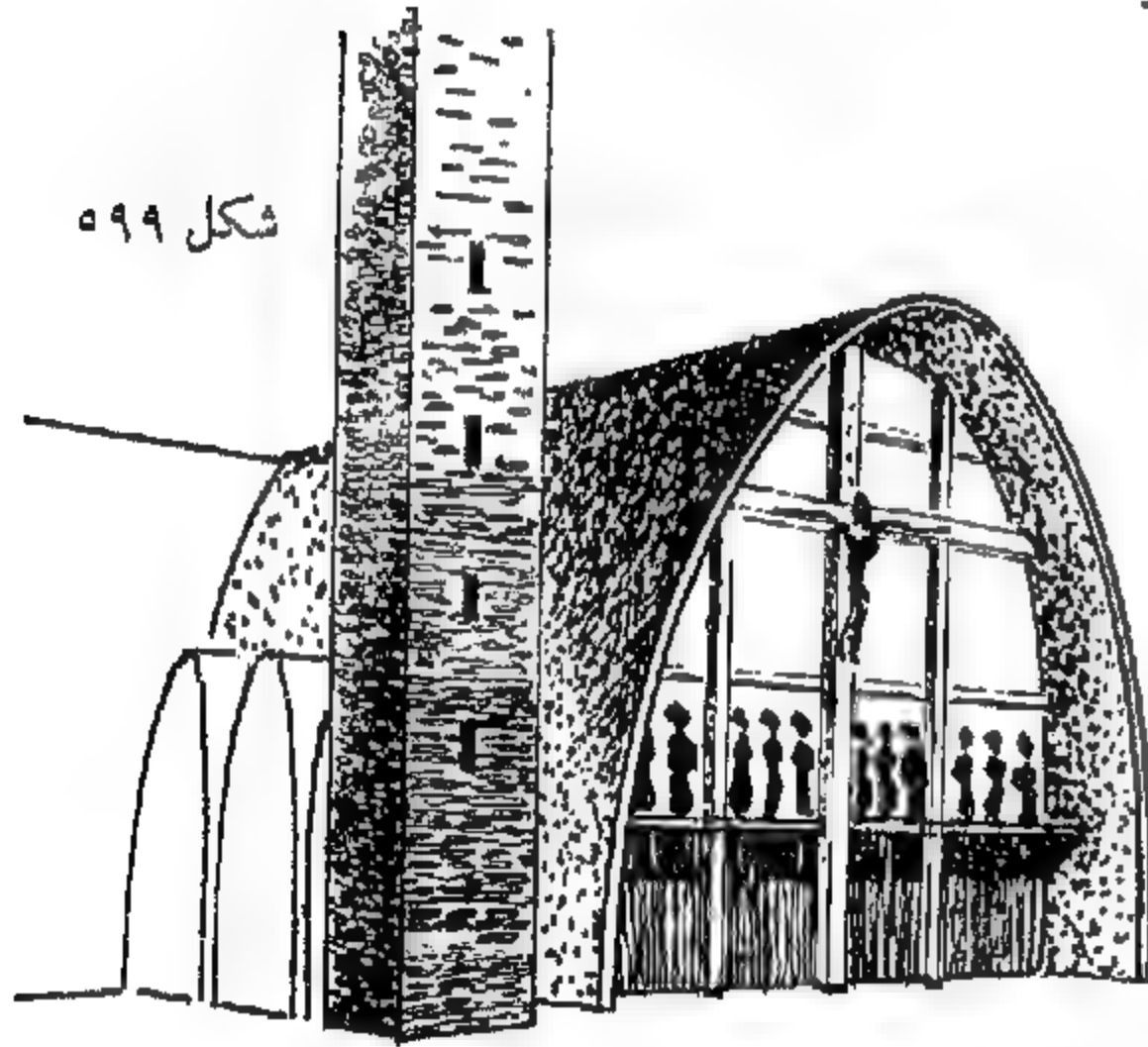
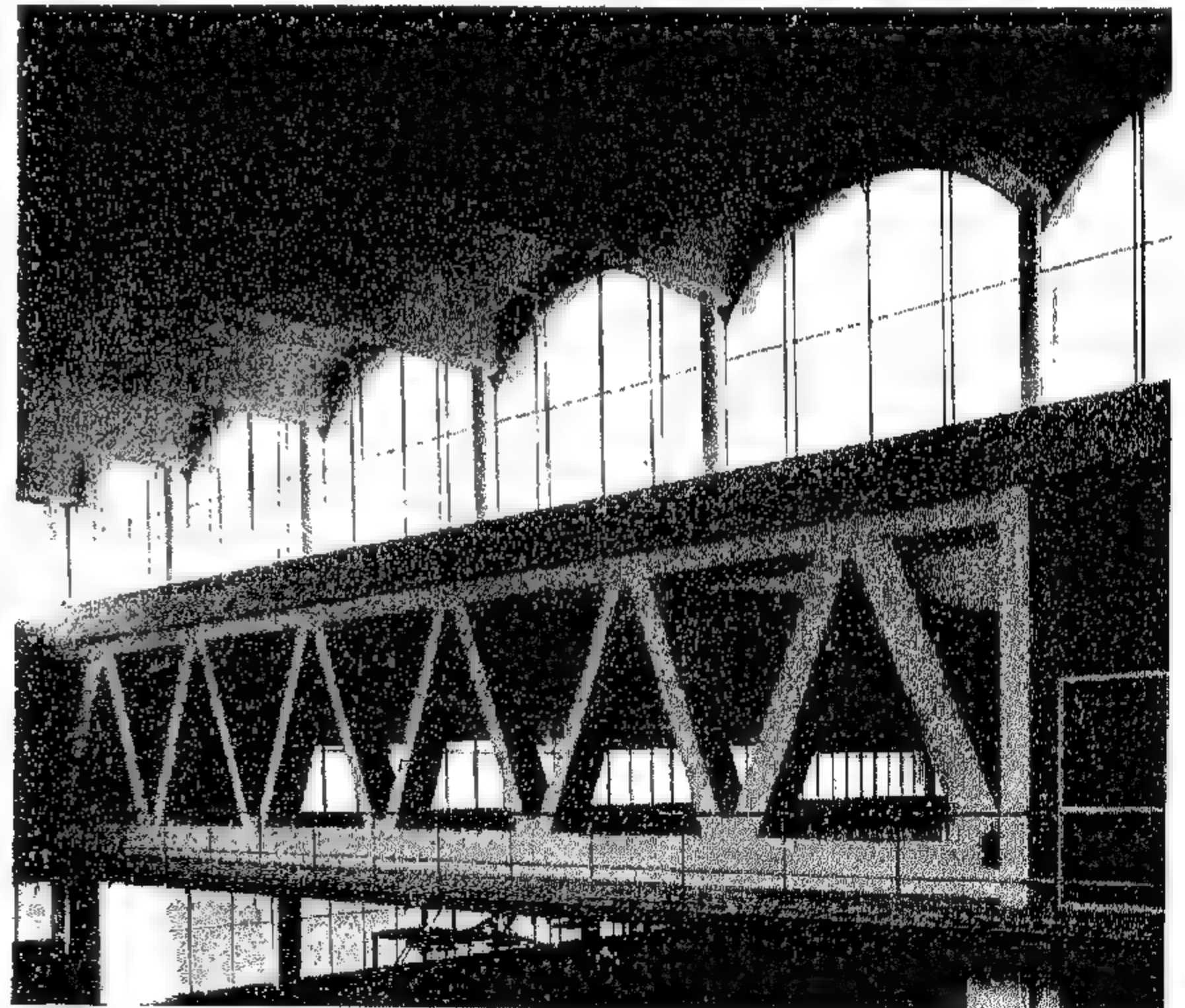
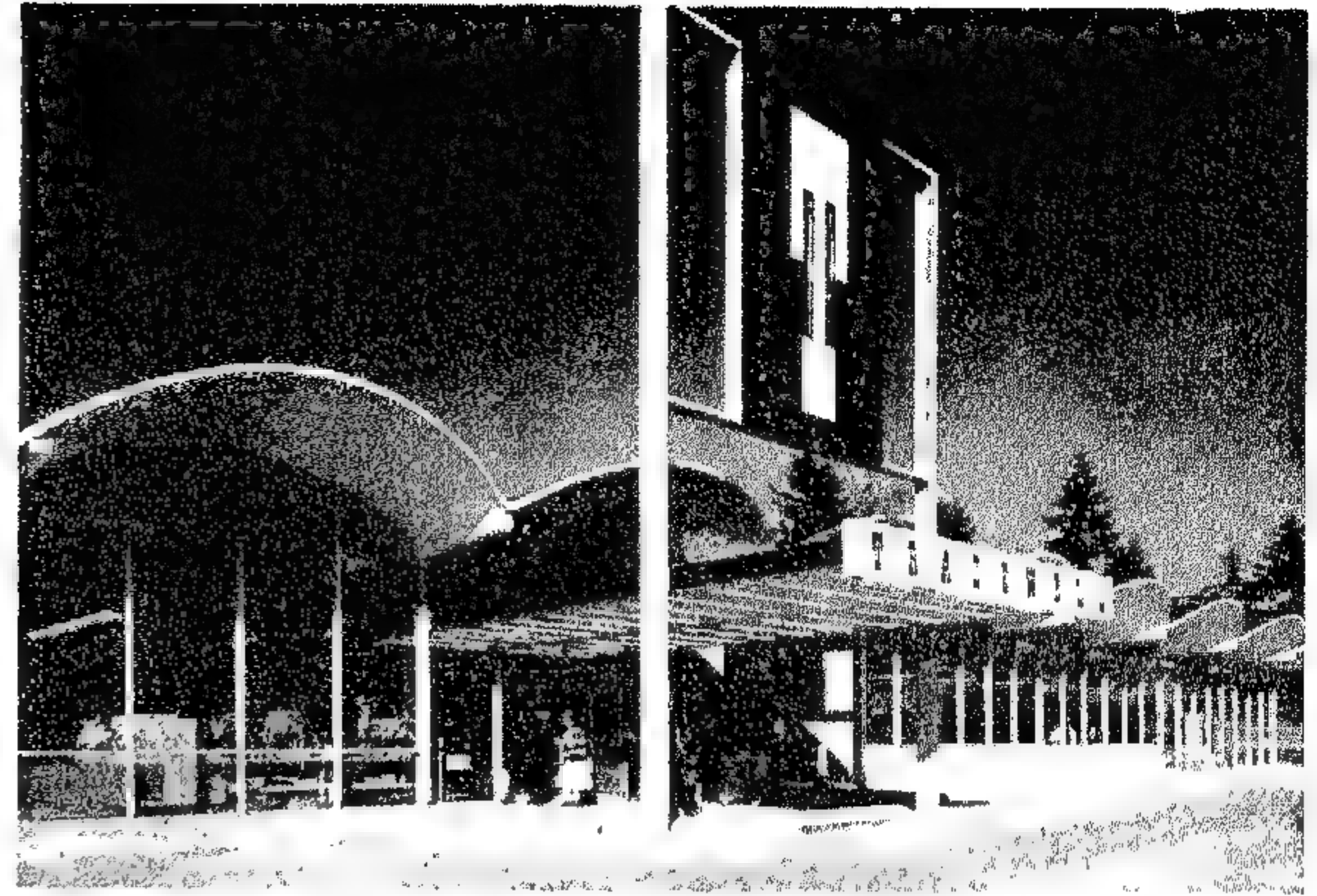
شكل ٥٩٣





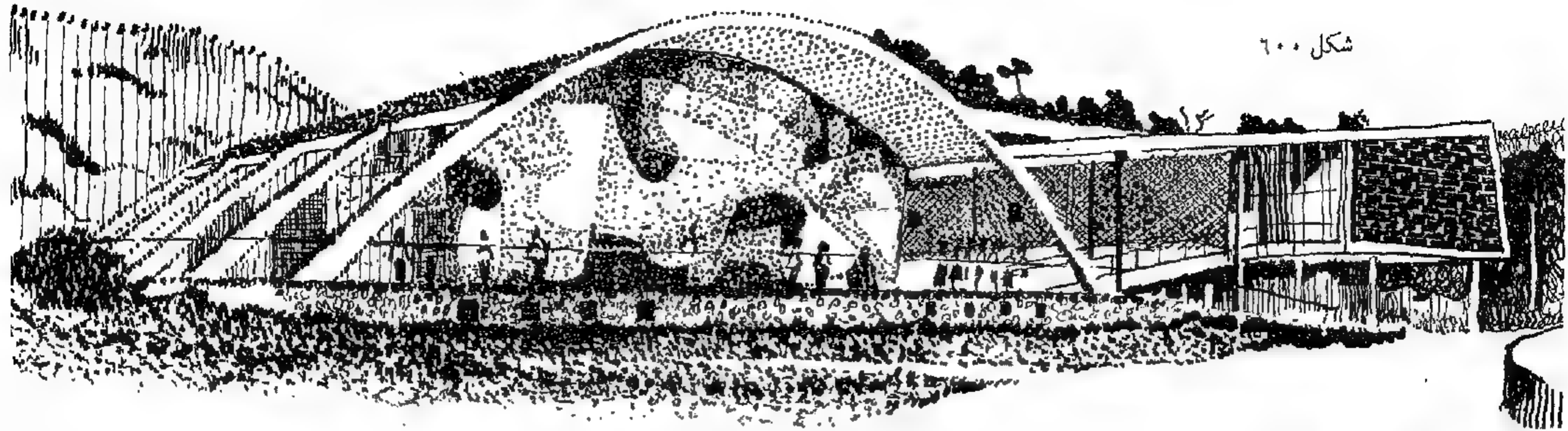
تأكيد الإنشاء القشري - دور الفتحات

(شكل ٥٩٤) جراجات متكويك للأوتوبيسات بلندن .
 (شكل ٥٩٥) صالة نادي تروبيكانا بها فانا كويا (المهندس المعماري / ماكس بورجس) .



تأكيد الإنشاء القشري — دور المسطحات غير الحاملة

- (شكل ٥٩٦) سوق تريبول بمدينة بون بولاية واشنطن . (المهندسون المعماريون ولتون بيكت وشركاه) .
- (شكل ٥٩٧) مصانع الفيلد في برنمارو بمقاطعة ويلز الجنوبية بإنجلترا
- (شكل ٥٩٨) منظور خارجي لسوق ستيوارت في مدينة فيوكانن بولاية كنتكت . (المهندس المعماري فكتور كرايست — جانر والإنشائيون سالفادوري وريد لنجر) .
- (شكل ٥٩٩) كنيسة بيورزما في مونتري بمكسيكو .

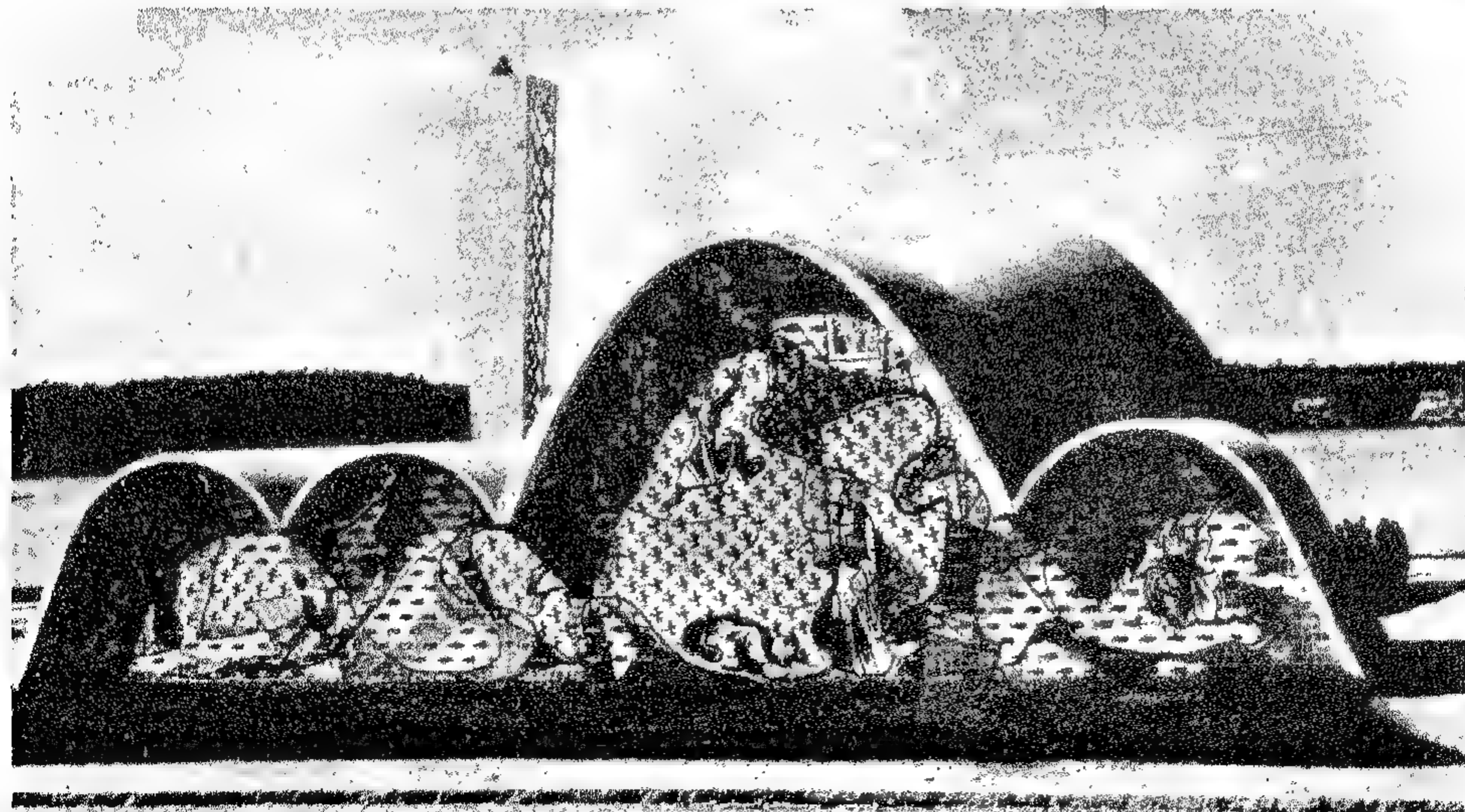


شكل ٦٠٠

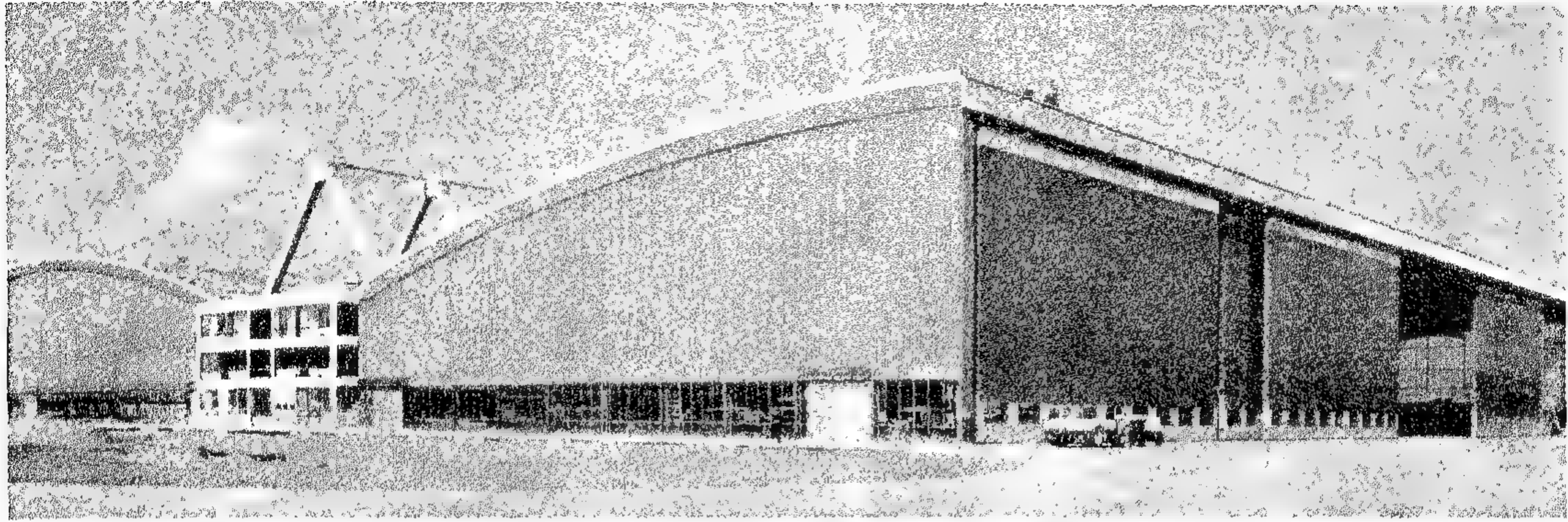
تأكيد الإنشاء القشري — دور المسطحات غير الحاملة المقفلة

(شكل ٦٠٠) مدرسة ابتدائية وجمنازيوم في شارع كابيتار فيليكس في ريو دي جانيرو بالبرازيل (المهندس المعماري أفونسو ريدي).
 (شكل ٦٠١) تفصيلة للوحة بورتناري السرامكية المزججة على كنيسة القديس فرانسيس بمدينة بامبولا في بيللو هوريزونتي بالبرازيل عام ١٩٤٥ (المهندس المعماري أوسكار نيماير).
 (شكل ٦٠٢) واجهة الكنيسة المذكورة .

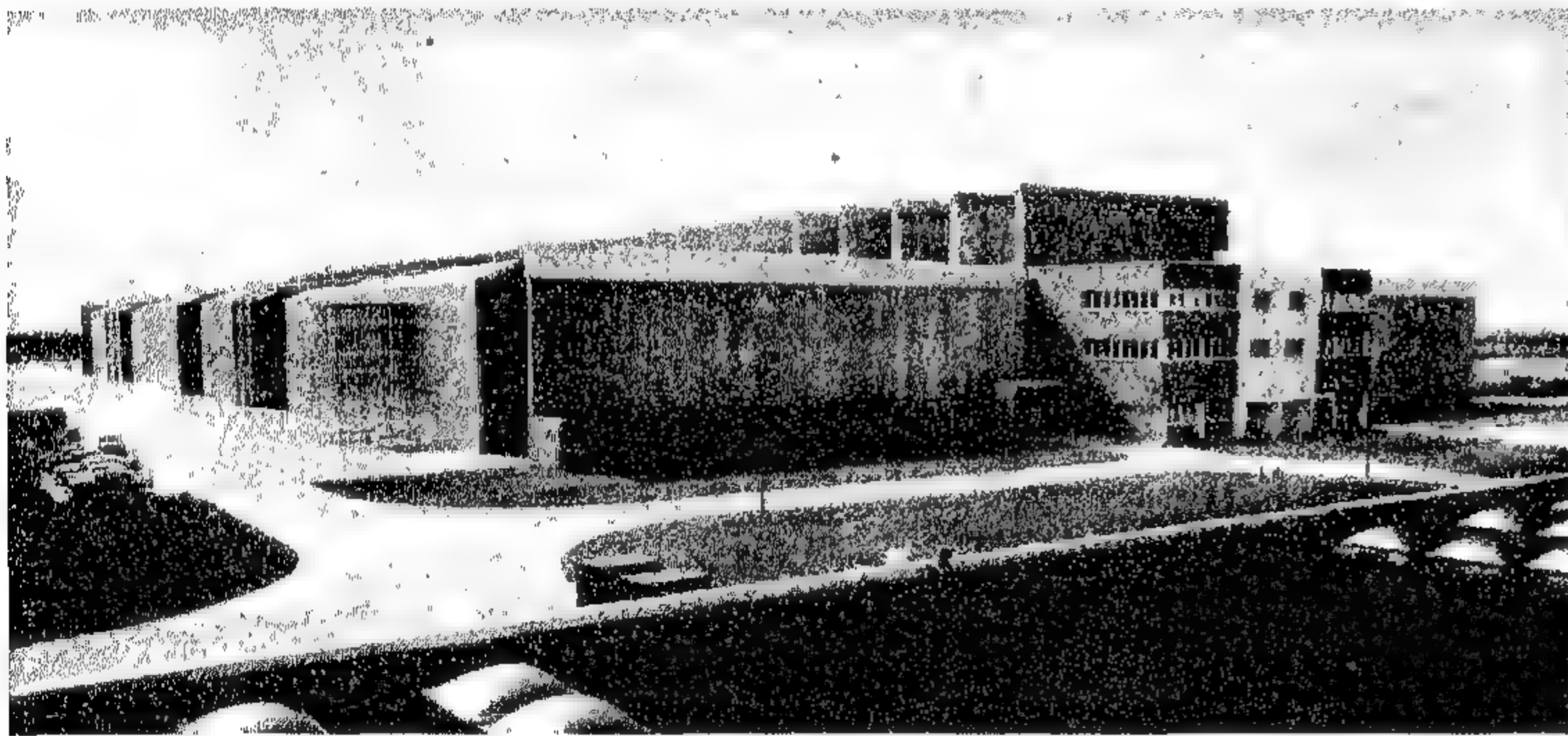
شكل ٦٠١



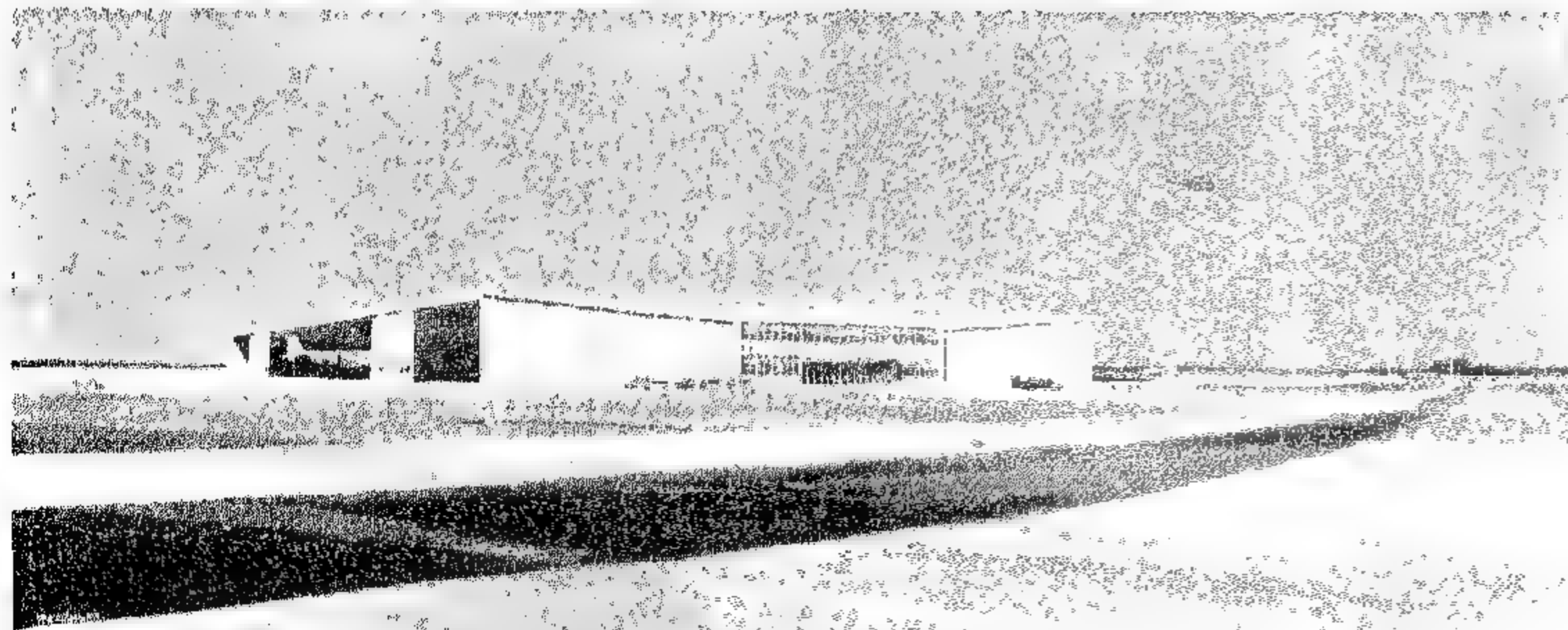
شكل ٦٠٢



شكل ٦٠٣



شكل ٦٠٤



شكل ٦٠٥

تأكيد الإنشاء ذو المسطحات الفعالة

- دور المسطحات غير الحاملة المعلقة
- (شكل ٦٠٣) - حظيرة طائرات شركة لوفتهانزا بمدينة فرانكفورت . (المهندسون المعماريون أوتو أبيل وشركاه) .
 - (شكل ٦٠٤) - حظيرة طائرات شركة الخطوط الجوية العالمية بمدينة نيويورك . (المهندسون مكتب أمان وويتني) .
 - (شكل ٦٠٥) - حظيرة طائرات سابقة الإجهاد (شركة روبرت وشيفنز) .

الخاتمة والمراجع

الخاتمة

الحرسانة المسلحة تشكل لغة جديدة للعمارة - لغة تستوحى أشكالها الفريدة من اتجاه إنشائي ثوري جديد تغذيه آلاف من البحوث والتجارب والحسابات في مادة قديمة قدم البارثون ، حديثة حداثة قصر الرياضة في روما . والاثنان تجمعهما مدينة واحدة ، ويفرقهما ألفا عام من التطور المعماري الإنشائي المتفرق في اتجاهات وفلسفات مختلفة متباينة . الاثنان غلفتهما قبتان : غطت الأولى فراغاً دائرياً قطره أربعة وأربعون متراً بسمك مصمت من ١,٢٠ م إلى ٣,٥ م من الحرسانة والطوب ، والثانية غطت فراغاً داخلياً دائرياً قطره ستون متراً بسمك عشرة سنتيمترات ، وأعصاب سمكها أربعون سنتيمتراً من الحرسانة والحديد . وبين التحفتين المعماريتين يظهر مدى استمرار التطور المعماري الإنشائي بالحرسانة ومدى التقدم الذي حدث في إمكانيات المادة والإنشاء .

لقد تخطت الحرسانة المسلحة مرحلة البحث عن الشخصية المعمارية الخاصة بها . هذه المرحلة سبقتها بالطبع اكتشافات تكنولوجية بمكتشفين أوائل لم تجمعهم صلة كافية لانتقال المعلومات والاكتشافات من أحدهم للآخر . وقد ثبت على غير ما هو سائد دور طليعي لمكتشفين أمريكيين هما هايات ووارد في هذه المراحل الاكتشافية الأولى للمادة المستحدثة . ومن الطبيعي أن المادة عولجت في أول الأمر المعالجة المعمارية السائدة لغيرها من المواد . وقد كان الإنشاء الهيكلي السابق تطبيقه على الخشب والحديد الزهر والصلب هو الحل الإنشائي الأول للحرسانة المسلحة . كما كسيت الهياكل الحرسانية في النصف الثاني من القرن التاسع عشر بوجهات إكلكتيكية من فكتورية غوطية ، إلى كلاسيكية على طراز الإمبراطورية الثانية ، إلى رومانسكية بيزنطية ، إلى كلاسيكية أكاديمية أو متأثرة بطرز الشرقيين الأوسط والأقصى . وقد استمر ذلك الانقسام بين العمارة والإنشاء طوال القرن التاسع عشر وإلى درجة ملحوظة في القرن العشرين .

وبالتدريج ابتداءً الإدراك بالإمكانيات الإنشائية الخاصة للمادة يزداد ، وخرج للوجود أهم اكتشاف إنشائي للقرن العشرين : البلاطة الإنشائية الفعالة التي لا تحدّها إمكانيات طبيعية أو اقتصادية أو علمية ، البلاطة التي تعمل في اتجاهات متعددة وتكيف بأشكال حسب رغبة المصمم . تحرر الإنشائي فجأة

في تصميماته من قيود الحجر وإمكانيات قطعه ونقله سليماً وبأحجام صغيرة، ومن قيود الخشب وضرورة معالجته في خطوط أو بلاطات ذات عروض وأطوال محدودة تعمل كل منها مستقلة ، وقد تتصل الأجزاء عن طريق المسامير أو اللصق ، ولكنها لن تتحول إلى أسطح كبيرة مستمرة . كما تحرر من قيود الحديد الزهر والمطاوع والصلب ومن ضرورة توافر المواد الخام والصناعة المتطورة بطرق ومعالجات على درجة عالية من المهارات مع الارتباط بأشكال وحدات خطية ، وضرورة الاستعانة بحشوات مستقلة لتقفل الفراغ ، ومغلفات عازلة لحماية المنشأ من الحرائق . لقد قاد المهندسون — من أمثال مايار في سويسرا وتيرنر في أمريكا وفريسينيه في فرنسا — الطريق لثورة إنشائية من نوع جديد .

العمارة في هذه المرحلة — السنوات الأخيرة من القرن التاسع عشر والأولى في القرن العشرين — ثارت على حركة التقليد والمحاكاة منادية بالاعتراف بالمواد الجديدة محققة لإمكانياتها الإنشائية والجمالية عن طريق أعمال وكتابات رتشاردسون وساليقان ورايت في أمريكا، وهورتا وواجنر ولوس وبرلاج وأوود وغيرهم في أوروبا . غير أن استعمال المعمارين الأوائل ، من أمثال بوديه وبيريه وجارنييه للخرسانة سار في طريق استعمال تكوينات إنشائية خطية سائدة في الإنشاء الخشبي والمعدني ، في حين أن البلاطات الإنشائية والصدفات القشرية كانت من الحلول الشائعة لدى الإنشائيين .

لقد فتح المجال لتجارب إنشائية قادها الإنشائيون وتوصلوا فيها لتجميعات هندسية جديدة ، وأصبح أمام المعمارين إمكانيات واسعة من التكوينات الجديدة المشجعة . لقد زال الجمود الذي جلبه الارتباط بالقفص التكميبي وتصرفاته وحلياته المختلفة وانطلق التشكيل المعماري إلى مجال الاستمرار الهندسي والمادي على مستوى الوحدات الإنشائية الخطية أو المستوية . انتقل الإنشاء من مجال الزوايا القائمة الناتجة عن الرأسيات والأفقيات إلى الاستمرار الذي يحقق وفراً هائلاً في استعمال المادة . وابتدأت مرحلة تجريبية تحت قيادة الإنشائي ، وتجاوبت العمارة ببطء وتردد ناتج عن عدم دراية كافية بالأسس الإنشائية المستحدثة ، وبآثارها وإمكانياتها المعمارية .

في هذا المجال تابع الكيميائيون ورجال الصناعة مجهوداتهم التي لا تقل أهمية عن مجهودات الإنشائي والمعماري لتطوير المادة ومكوناتها . وما زالت الخرسانة إلى اليوم تمر بتجارب قصيرة وطويلة الأمد — وهي إذ تزداد قوة ومتانة واحتمالاً على مر الزمن ، كما أن قوتها في الشد ما زالت تحت التجارب . وفي متناول اليد الآن أنواع متباينة من الأسمنتات ، وما زالت أنواع أخرى في مجال التطوير المعمل . وقد توصلت الصناعة إلى حديد تسليح بقوة عالية في الشد مع تماسك أكبر بالخرسانة المحيطة . وقد كانت الشدات

المؤقتة وما زالت المشكلة العملية والاقتصادية في الإنشاء الخرساني . فقد بلغت من التعقيد وكثرة التكاليف ما فاق تكاليف المنشأ ذاته . وقد ظهرت بوادر حل هذه المشكلات عن طريق الدراسة الجدية لسبق التجهيز . ومن أبرز تطورات الوصول إلى تكوين المنشأ عن طريق وحدات سابقة التجهيز يتم تجميعها على موقعها وشكلها النهائي بواسطة خرسانة مصبوبة على الموقع . وقد يلعب سبق الإجهاد دوراً كبيراً في حالة الأسقف الأفقية أو البسيطة الانحناء والمجمعة بنفس الطريقة السابقة . والمجال التطبيقي لهذه الطريقة بالإضافة إلى مزاياها الاقتصادية في توفيره الشدة واسع بلا حدود ، فأكثر الإنشاءات تعقيداً وأوسعها بحوراً يمكن تكوينها ببساطة من وحدات صغيرة خفيفة الوزن تتجمع في هيكل متماسك بدون حاجة إلا إلى روافع بسيطة . وفي الاعتقاد أن الجمع بين سبق التجهيز والصب على الموقع هو الحل الأمثل لمشكلات الإنشاء الخرساني المعقد ، وبخاصة بالنسبة للبلاد النامية .

ومن الأهمية بمكان ، إذا قدر للمعماري أن يحتل مكانه السليم في تطوير عمارة الخرسانة المسلحة ، أن يتخطى الهوة الموجودة حالياً بين الحقيقة الإنشائية والخلق الفني . وقد تتبعنا الدراسة الحالية تلك الحقيقة الإنشائية بالخرسانة المسلحة من أبسط التكوينات وأقلها تعقيداً ، وهو العمود والعتب إلى نهايتها نحو التكوين الكروي المتكامل . وقد أثبتت الدراسة أن هناك علاقة تسلسلية تجمع جميع التكوينات الإنشائية على أساس هدف رئيسي وهو الاستمرار على مستواه الهندسي والمادي ، ذلك الهدف الذي يحقق تماسك أجزاء المنشأ المختلفة مع إلغاء عزوم الانحناء مما يضمن كفاية أكبر في استعمال المادة ، وإمكانات أوسع في التغطية ، وتطوراً هائلاً في مجال التشكيل المعماري . ولأول مرة ، وعلى أوسع نطاق ، توصل المصمم إلى مصدر جديد للقوة من دراسته للمخلوقات العضوية من نباتية وحيوانية — فبدلاً من أن تكون القوة نتيجة للكتلة أصبحت نتيجة للشكل . وقد أصبح هذا هدفاً إنشائياً جديداً كفيلاً بتغيير الشكل المعماري .

هذا المبدأ المستحدث الذي طور الإنشاء نحو الاستمرار الهندسي والمادي في المستويات ذات التكسيرات أو الانحناءات المفردة أو المزدوجة تقابله معمارياً احتمالات عديدة وصعوبات مماثلة . فهو بجانب ما يتيح من إمكانات جديدة في الفراغات الواسعة التي تتطلبها احتياجاتنا المعمارية المعاصرة يتطلب دراسات لتخطي صعوبات كثيرة . لملاءمته لأنواع الفراغات المعمارية المتنوعة . كما تتطلب التفاصيل المعمارية المختلفة من مداخل وفتحات للإضاءة والتهوية وحوائط وسلام ومستويات متعددة معالجات معمارية مناسبة . هذا بخلاف مشكلات الصوت والإضاءة والعزل الحراري والمياه وغيرها

من المشاكل التي هي الآن محل بحوث ومؤتمرات متعددة ، وقد نوقشت هنا هذه الاحتمالات كما بحثت وسائل معالجة مثل هذه الأسطح للجمع بين قوة الاستمرار المادى والهندسى مع الاحتفاظ بالمرونة المعمارية المصاحبة للإنشاء الخطى .

ومن الناحية الجمالية نجد أن الخرسانة المسلحة بطبيعتها كمادة بلاستيكية قوية تتيح اتجاهات واسعة للاستعمال والتشكيل ، ويتوقف كل اتجاه على مدى التركيز والاهتمام الذى يعبره المصمم لخاصية معينة من خواصها . فهي كمادة تتكون من جزئيات متفاوتة الحجم واللون مصبوبة فى قوالب قد تصل فى تعبيرها وثقلها وبدائيتها لما وصلت إليه أعمال لوكور وبوزييه بعد الحرب العالمية الثانية (Beton Brut) ، وما تبعه من أعمال المهندس اليابانى كيتزو تانجى . وفى هذا الاتجاه مجال لتصرفات باللمس واللون تمنح السطح طاقة بصرية غير محدودة .

وقد يذهب المعماري إلى التقييد فى تشكيلاته بالخرسانة بإمكانيات الخشب على أساس دوره الهام فى صناعتها ، الأمر الذى نادى به وطبقه المعماري بيريه . فاستعملها فى خطوط مستقيمة فى أعمدة وكمرات ، وهنا تختلط صفات المادة بصفات الغلاف المؤقت اختلاطاً لا يسوغه الاستعمال السليم للمادة ذاتها .

والحرية التى أتاحها الخرسانة المسلحة فى التشكيل الذى يناسب القوة الإنشائية أنتجت — كما اتضح — أشكالاً جديدة . هذه الأشكال مغايرة تماماً لما تعودت عليه العين البشرية فى خبرتها بالعمارة على مر العصور ، ليس فيها الحوائط الرأسية العمودية على الأرض ولا المستويات الأفقية الموازية لها . كما أن هذه التشكيلات لا تحتوى على الفتحات الرأسية أو الأفقية ذات الاعتبار الأفقية أو المعقودة ، والى تتابع مع الأكتاف من دور لآخر على إيقاع رأسى وأفقى خاص . أصبحنا نرى أشكالاً بلاستيكية تتبع الكفاية الإنشائية رابضة على الأرض أو على أعمدة — هى أقرب إلى التكوينية المجردة بمعناها الحديث التى تفضل الأسطوانات والمخاريط والكممرات . وفى هذا المجال تكمن أسرار جمالها كأشكال هندسية بسيطة (stereo metric) تحت الضوء . هذه الأشكال ذات بروفيل انسيابى منحني يريح العين ، ويتوقف نجاحها على مدى مطابقتها للاحتياجات المعمارية للفراغ ومدى ملاءمتها للكفاية الإنشائية . كما يتوقف نجاحها جمالياً على مدى الإدراك البصرى لشكلها ومقياسها داخلياً وخارجياً عن طريق الفتحات ، أو التقاطعات ، أو التوجات ، أو الأعصاب .

ويتكامل التأثير الفنى للتصميم الخرسانى بتكامل الإدراك الفكرى للتشكيل المعماري الناتج ، الأمر

الذى يتأتى عن طريق التعبير المباشر والمؤكد للمادة وطبيعتها وطرق صناعتها وطرق تجميعها وتشكيلها .
وكلما تأكد هذا التعبير وضح الإدراك الفكرى والمنطقى للحقيقة الإنشائية والمعمارية ؛ الأمر الذى
يؤدى إلى الجمال والمتعة الفنية .

وفى الختام لا يسع الباحث إلا أن يستخلص أن عمارة الخرسانة المسلحة على أبواب ثورة هائلة فى
السطح والشكل تتبعها ثورة مماثلة فى التصميم والإحساس بالجمال . هذه الثورة ولو أنها حلقة فى سلسلة
تطور تاريخى معمارى إلا أنها لا ترجع إلى الماضى * وهى تحمل فى طياتها بذور نضجها وتقدمها .
هى ثورة لا تقتصر على بلد واحد ، بل على العكس فإن موادها الخام منتشرة فى أغلب مناطق العالم .
كما أنها تتيح للبلاد النامية فرصاً اقتصادية لإشباع احتياجاتها الحادة للفراغات المعمارية الجميلة .

وإذا كانت الخرسانة المسلحة قد وصلت إلى مستوى مقبول من النضج كمادة إنشائية ، فإن أمام
المعماري مرحلة طويلة للوصول بها إلى نضج معمارى مماثل . ولكى يتحقق هذا النضج يجب أن يزداد
الفهم وتعمق الثقة بالمادة . وعندئذ تحل المرحلة القادمة للتطور التى عبر عنها الأستاذ ليوبولد أرنود
فى تحليله للتطور التاريخى للعمارة :

« وكلما تقدمت المعرفة بالمادة الإنشائية وقواعدها الجمالية أصبحت المعالجة أكثر حرية وزخرفة ،
تزداد فى النهاية إلى ثقة بالنفس قوية تعكس نفسها فى زخارف غنية وعبقورية تكنولوجية » .

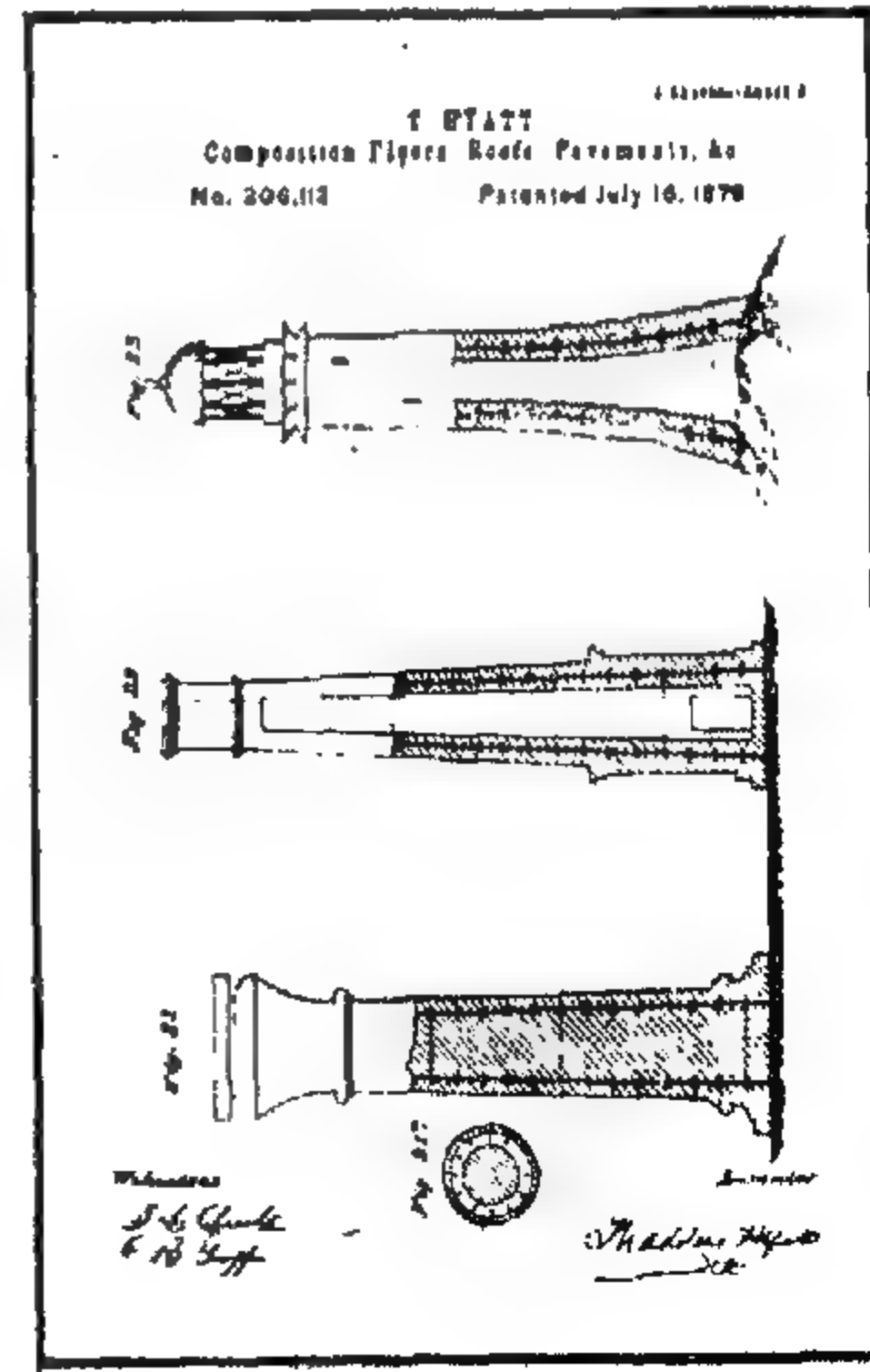
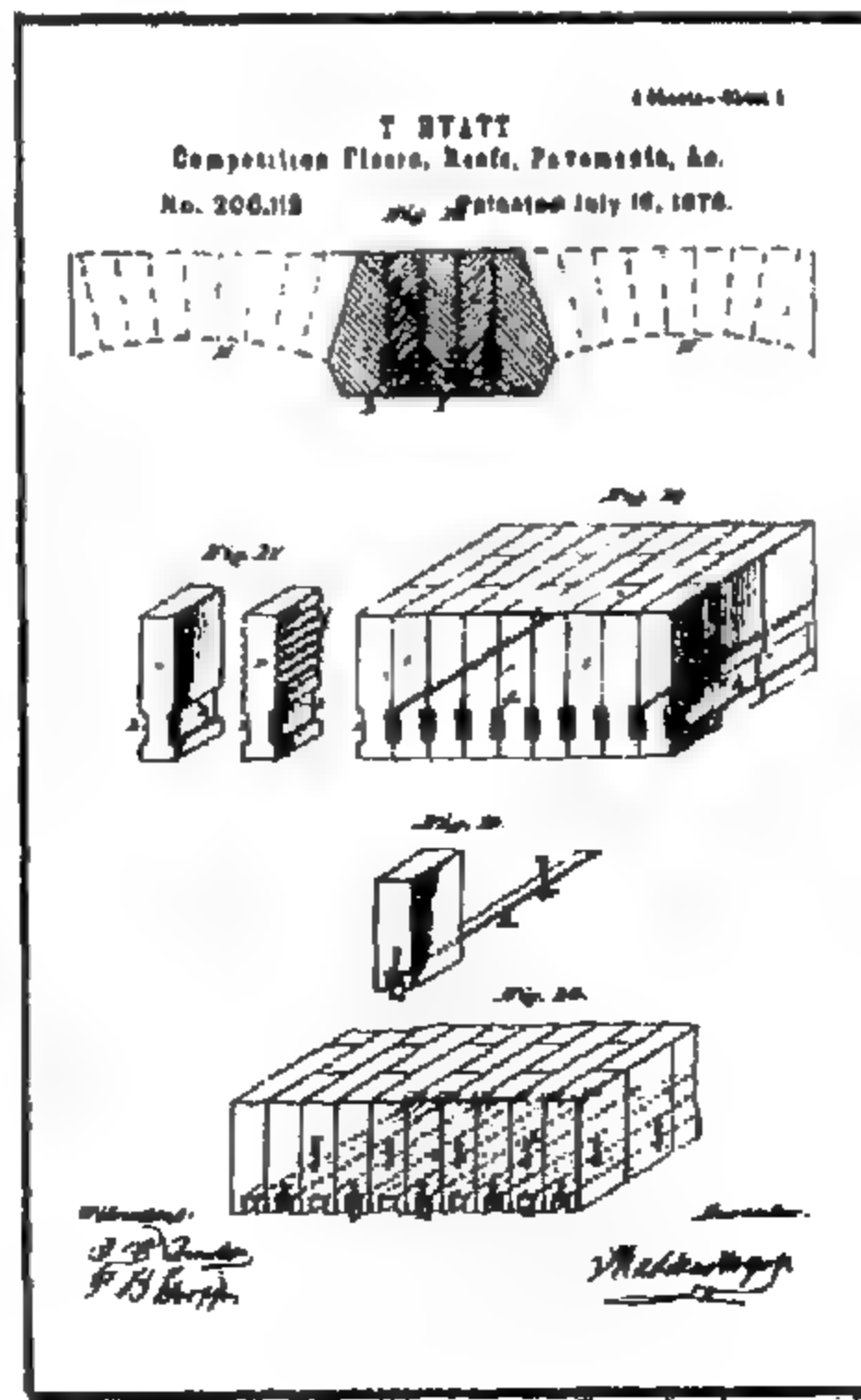
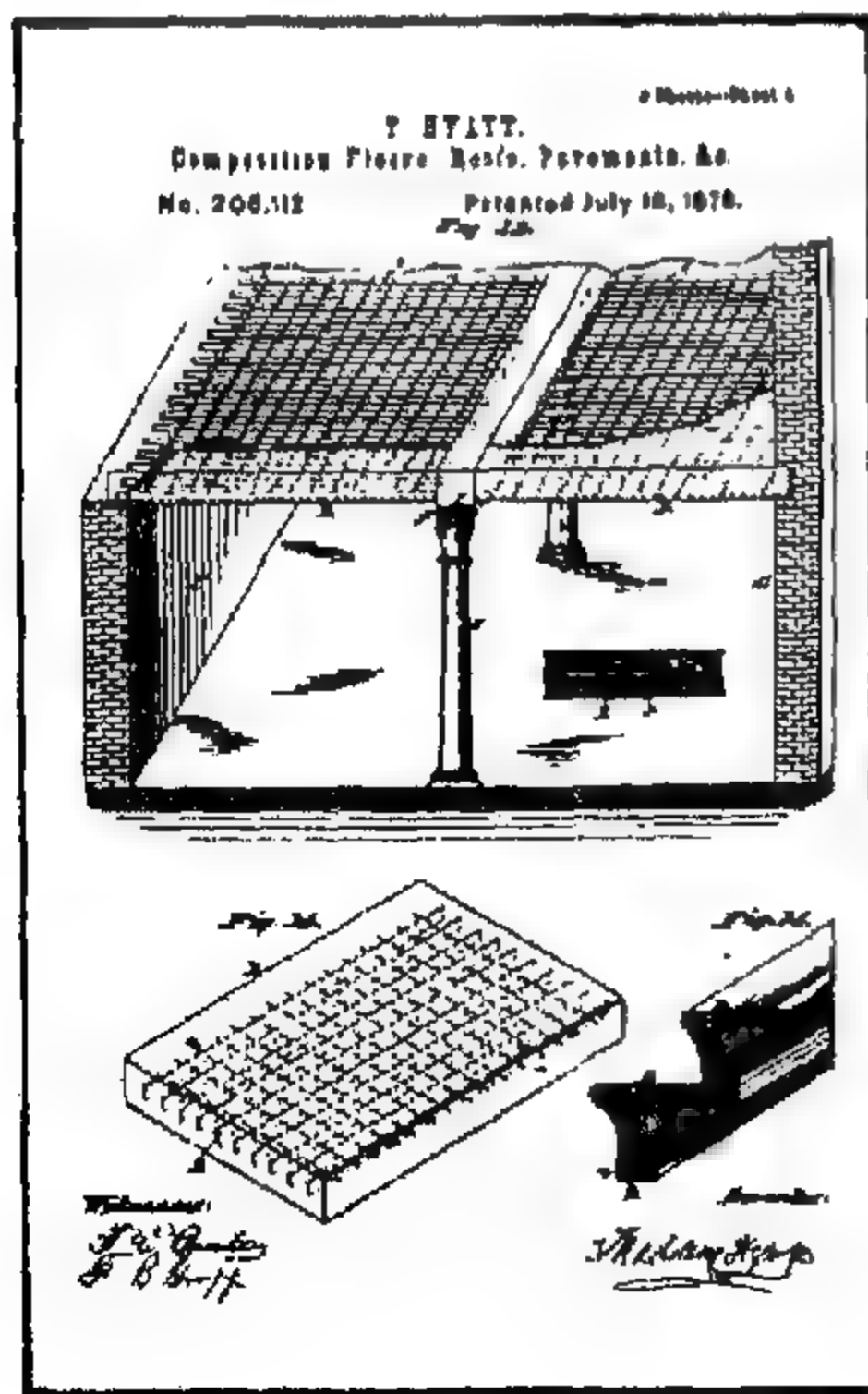
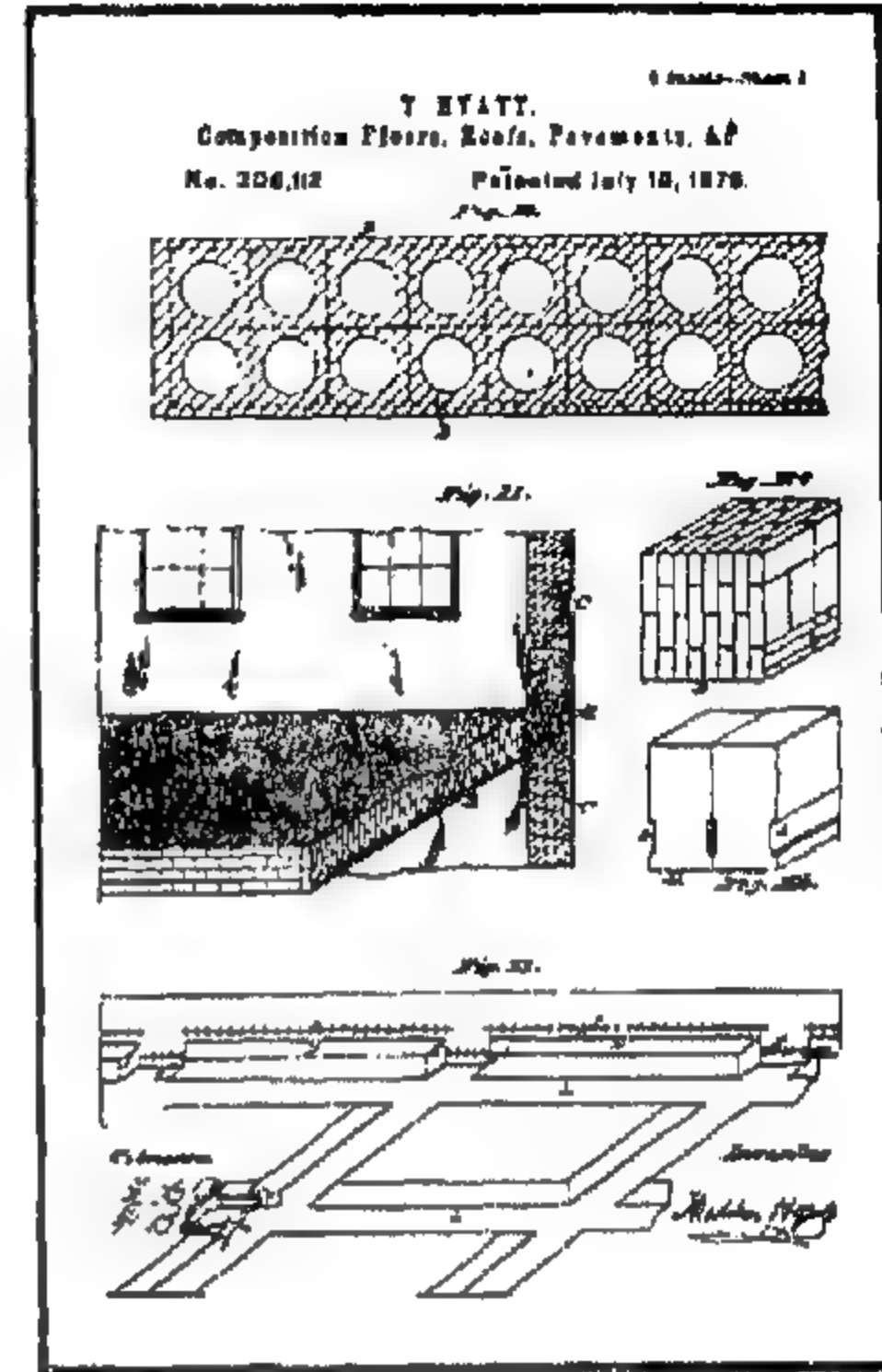
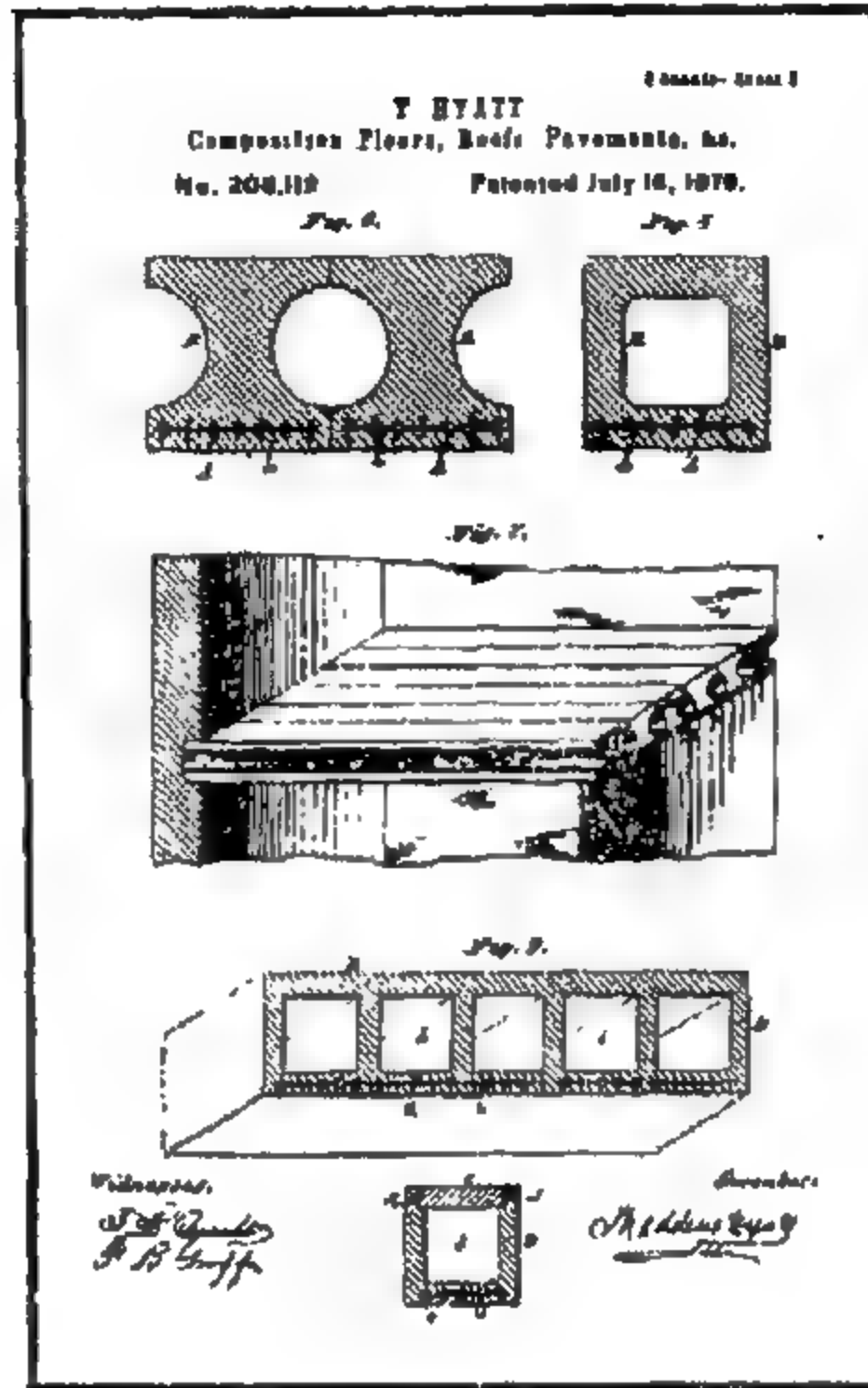
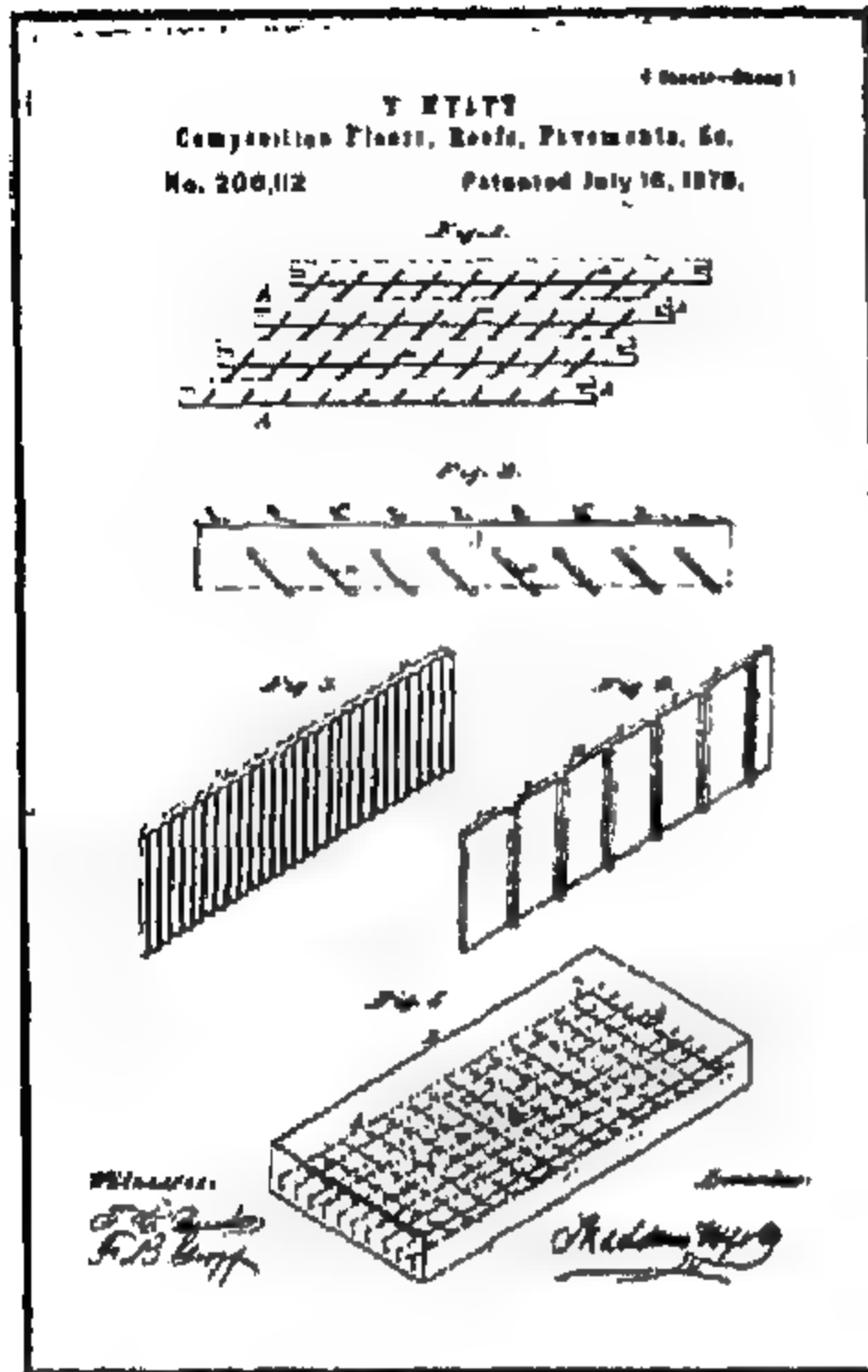
والخطورة هنا فى الحرية التى تتيحها الخرسانة على مستوى السطح والشكل ؛ إذ أن فيها احتمالات
إساءة الاستعمال . فقد تزدحم الزخارف أو تكبر التشكيلات وتعتقد لتصبح أفيالا رمادية رابضة على
الأرض يتضاءل بجانبها الإنسان كما تتضاءل أعماله السابقة ، بدلا من أن يرتفع بها التراث الإنسانى
ويزداد غنى ووقاراً . والفرق بين النتيجةين هو الفرق بين الخلق الفنى المبدع وبين مجرد استغلال
الطاقات لكسر أرقام وإحصاءات سنة تلو الأخرى . ولتوجيه التطور المعماري نحو الوجهة الأولى كان
المهدف من هذا الكتاب .

* اقترح المهندسان الفرنسيان بوليه ولودوه فى أواخر القرن الثامن عشر تكوينات معمارية تعتمد على الكرة والاسطوانة فى
مشروعاتهما الخيالية لمعارض فلكية ومسارح ومدافن تذكارية بأسماء تقرب كثيرا من أسماء الصدقات القشرية . هذه المشروعات
لم تأخذ طريقها للتنفيذ لعدم وجود المواد الإنشائية المناسبة .

ملحق 1

براءة اختراع أمريكية باسم ت. هايات رقم ٢٠٦١١٢

١٦ يوليو سنة ١٨٧٨



فهرس الحواشئ

الفصل الأول

1. Architectural Publication Society, *The Dictionary of Architecture* (London : Thomas Richards, 1877), II, p. 125.
2. Vitruvius, BK. VIII, Ch. VII; Alberti, BK. III, Ch IX; Palladio, BK. I, Ch. IX. cf. P. Collins, *Concrete* (London : Faber & Faber, 1959) p. 19.
3. *Ibid.*, p. 20.
4. S. Giedion, *Space, Time and Architecture*, (Cambridge: Harvard University Press, 1949) p. 256.
5. J. Smeaton, *A Narrative of the Building and a Description of the Construction of the Eddystone Light-House*, (London : Longram, Hurst, Rees, Orme and Brown, 1813), p. 112.
6. *Ibid.*, p. 118.
7. G. Godwin, "Prize Essay upon the Nature and Properties of Concrete, and its Application to Construction up to the Present Period", *Transactions of the Institute of British Architects*, I, Part I (London : 1835-36), p. 15
8. F. Cointeraux, *Modèle d'une Citerne en Béton, imitant la forme d'un oeuf* (n.d.) p. 9. Cf. Collins, *Concrete*, op. cit., p. 22.
9. Roscnau, "Boullée's Treatise on Architecture" (London, Alec Tiranti, 1953), fig. 1-56.
10. F.M. Lebrun, "Méthode Pratique pour l'Emploi du Béton, en remplacement de toute autre espèces de maçonneries dans les constructions en général (1835), p. 82 et seq. Cf. Collins, *Concrete* p. 25.
11. F. Coignet, *Béton Agglomérés Appliqués à L'Art de Construire* (1861), p. 23. cf. *Ibid.*, p. 27.
12. H. Greeley, *Recollections of a Busy Life* (New York; J.B. Ford & Co., 1868), p. 309.
13. *Ibid.*, p. 309.
14. Smeaton, *op. cit.*, p. 100.
15. S. Giedion; *op. cit.* p. 105.
16. *Ibid.*, p. 126.
17. Collins, *Concrete*, p. 29.
18. Giedion, *op. cit.*, p. 128.
19. Collins, *op. cit.*, p. 29.
20. Great Britain Patent No. 2293 (October 27, 1854), with the title. "Construction of Fire-proof Dwellings, Warehouses and Other Buildings, or Parts of the same".
21. Cf. M. Shand, "Steel and Concrete, A Historical Survey, "The Architectural Review," LXXII (Nov., 1932), p. 177.
22. W.H. Thorpe, letter to the editor, *Engineering* CXIX (May 29, 1925), p. 678.
23. Cf. Collins, *concrete*, p. 29.
24. *Ibid.*
25. *Ibid.*, p. 30.
26. Shand, *op. cit.*, p. 177.
27. Cf. a paper presented before the Western Society of Engineers on June 6, 1900 : E. Lee Heidenreich, "Monier Construction" *Western Society of Engineers Journal* (January-December 1900) p. 331.
28. *Ibid.*
29. T. Hyatt, *An Account of Some Experiments with Portland Cement Concrete, Combined with Iron, as a Building material* (London; Printed privately at the Chiswick Press, 1877).

30. U.S. Patent No. 216,112, July 16, 1878, Specifications of Patents, p. 719.
31. *Ibid.*
32. Hyatt, *op. cit.*, p. 15.
33. *Ibid.*, p. 19.
34. *Ibid.*, p. 20.
35. U.S. patent No. 216,112 *op. cit.*, p. 720.
36. *Ibid.*, p. 722.
37. *Ibid.*
38. W.E. Ward "Beton in Combination with iron as Building material," *American Society of Mechanical Engineers, Transactions* 4 (1883), p. 388.
39. *Ibid.*, pp 388-89.
40. *Ibid.*, p. 391.
41. *Ibid.*, p. 392.
42. Evolution of Reinforced Concrete in Germany. *American Architect & Building News*, XL, No. 1616. (Dec. 15, 1906), p. 189.
43. Collins, *Concrete, op. cit.*, p. 61.
44. *Ibid.*, p. 69.
45. *Ibid.*, p. 72.
46. *The Builder*, 1864, Vol. 22, p. 863; 1866, Vol. 24, p. 626 cf. *Ibid.*, p. 73.
47. *Ibid.*, p. 74.
48. "Reinforced Concrete at the London," *American Architect and Building News*, 90 (August, 11, 1906), p. 43.
49. *Ibid.*
50. Cf. C.M. Kurtz.
في تقرير قراء الجمعية، الفنية لساحل المحيط الهادى في
1 مارس سنة ١٩٠١ :
"Practical Applications of Iron and Concrete
to Resist Transverse Strains" *American Architect
and Building News*, 72 (May 25, 1901), p. 61.
51. W.M. Bailey, "Expanded-Metal as used in
Fireproof Building Construction and other
work," *American Architect and Building News*, 72
(April 20, 1901), p. 20.

52. G. Hill. "Reinforced Concrete Construction,
American Methods," *Architectural Record*, XII
Sept. 1902) p. 394.
53. Kurtz, *op. cit.*, p. 61.
54. Bailey, *op.cit.*, p. 22.

الفصل الثاني

1. Ruskin, "*The Seven Lamps of Architecture*"
(London, J.M. Dent & Sons, 1440), p. 207
& 210.
2. *Ibid.*, p. 213.
3. Thomas Hope "*An Historical Essay on architecture*
(1835). cf. Collins, *Changing Ideals in Modern
Architecture 1750-1950*" London, Faber & Faber
(1965). p. 119.
4. L. Arnaud, "Concrete in Architectural Service",
Journal of the American concrete Institute, 35
(April 1939) p. 355.
5. Ruskin, *op.cit.*, p. 39-40-41.
6. *Ibid.*, p. 3.
7. Collins, "*concrete*" *op. cit.*, p. 39.
8. A French Theatre in Ferro-concrete, "*Architec-
tural Record*, 26 (Octobre, 1909). p. 270.
9. Peter B. Wight, "The Pioneer residence in
America" *Architectural Record*, 25 (September,
1909), p. 360.
10. Viollet - Le-Duc, "*Rational Building*", translation
by Mr. Huss (New York : Macmillan & Co,
1895). p. 1.
11. César Daly, *Revue Générale de l'architecture*, 1849,
p. 26 cf. Giedion. *op. cit.*, p. 148.
12. Theophile Gautier, *La Presse*, cf., Giedion, *op.
cit.*, p. 149.
13. Henri van de Velde, "*Die Rolle der Ingenieure
in der modernen Architektur*", *Die Renaissance im
modernen Kunstgewerbe* (Berlin 1901) cf.
Giedion, *op. cit.*, p. 151.
14. Viollet Le Duc, *op. cit.*, p. 9.
15. Ruskin, *op. cit.*, p. 35.

16. *Ibid*
17. *Ibid.*, p. 44.
18. Giedion, *op. cit.*, p. 374.
ولتفاصيل وصور أكثر عن هذه الكنيسة أنظر :
Schopfer, J. "A French Method of Cement
Construction, "Architectural Record", 12,
(September, 1901), p.p. 373-91.
19. Collins, "Changing Ideals in modern architecture",
op. cit., p. 156.
20. A. Perret "Thoughts on Architecture" *Arkitekt-
ture S.S.S.R.*, 4 (Jan. 1936), pp. 10-14.
الترجمة بواسطة مسز. برانسون Mrs. R. Branson
بمكتبة إيفري بجامعة كولومبيا .
21. للأطلاع على تصاميم جارية كاملة للمدينة الصناعية أنظر
T. Garnier, *Une Cité Industrielle* (Paris : A.
Vincent, 1918), 2 V., 164 plates.
22. Collins, *concrete, op. cit.*, p. 124.
23. Inderdonk, F.S., *The Ferro-Concrete Style*, New-
York : Architectural Book Publishing Co.
1920.
24. Ilse Recse, Steiner's Goethean at Dornach,
"Progressive architecture", Sep. 1965, p. 146-153.
25. Arnaud, *op. cit.*, pp. 355-56.
7. K. Hajnal-Konyi, *op. cit.*, p. 15.
8. *Ibid.*, p. 25.
9. H. Rohfors, "Sweden", *Concrete and Construc-
tional Engineering*, 51 (January 1956), p. 159.
10. Professor M. Ross. "Switzerland", *Concrete and
Constructional Engineering*, 51 (January 1956),
p. 197.
11. *Ibid.*, p. 199.
12. *Ibid.*, p. 196.
13. E. Sigalov, S. Strongin, "Reinforced Concrete,
(Moscow, Peace Publishers), pp. 29-38.
14. H. Giese, *A Practical Course in Concrete* (Chicago :
Portland Cement Association, 1948), p. 16.
15. National Ready-Mixed Concrete Association,
(Control of quality of Ready - Mixed Concrete
(Washington : National Ready-Mixed Concrete
Association, 1953), Publication No. 44, p. 3.
16. لتفاصيل أكثر استشر
*Specifications and Test Methods for Ready-
Mixed Concrete* (Washington, National Ready-
Mixed Concrete Association, Dec. 1953)
Publication No. 47, pp. 1-58.
17. Withey & Washa, *op. cit.*, p. xiv-30.
18. V. Turkin, "U.S.S.R." *Concrete and Construction
Engineering*, 51 (Jan. 56), p. 151.
19. *Innovations in Building*, أنظر الجدول في
op. cit., p. 6.
20. *Ibid.*, p. 41.
21. Diamant, Vol. I, *op. cit.*, p. 16.
22. *Ibid.*, pp. 23-25.
23. *Ibid.*, pp. 26-30.
24. *Ibid.*, pp. 38-40.
25. *Ibid.*, Vol. 2, pp. 42-44.
26. *Innovations in Building*, *op. cit.*, p. 9.
27. Diamant, Vol. II, *op. cit.*, pp. 30-33.
28. *Ibid.*, *op. cit.* p. 15.
29. *Ibid.*, Vol. I, *op. cit.*, pp. 123-126.
30. Röhfers, *op. cit.*, p. 159.

الفصل الثالث

1. M.O. Withey & G.W. Washa, *Materials of
Construction*, (New York John Wiley & Sons,
1954), p. XIII-26.
2. R.M.E. Diamant "Industrialised Building"
(London Liffé Books, 1964), p. 187.
3. C.I.B. *Innovations in Building*, (Amsterdam
Elsevier Publishing Company, 1962), p. 15.
4. Cf. Hajnal-Konyi, *Concrete, New Ways of
Building* (London, The architectural Press,
1955), p. 19.
5. Shand, *op. cit.*, p. 176.
6. J.C. Pearson, "Comments on changes in
Cement Specifications & Concrete Practices
during the past 25 years" *Journal of the American
Concrete Institute*, 38, (April 1948), p. 707.
- من بين الأمثلة الأخرى في الولايات المتحدة الكمرات (I)
سابقة الإجهاد (نسبة عمق إلى بحر 1 : 8) الموضوعة فوق

أعمدة مصبوبة على الموقع في مخازن Charlotte Grocers
Mutual Warehouse بمدينة شارلوت بولاية كارولينا الشمالية
Cf. *Progressive Architecture* (January, 1955),
p. 58.

31. Röhfors, *op. cit.*, p. 159.
32. A precast Concrete Roof Truss, *Architect and Building News*, 166 (April 11, 1941), pp. 28-29.
33. L. Michaels, *Contemporary Structure in Architecture* (New York, Reinhold Publishing Corporation, 1950), p. 29.
34. Diamant Vol. I, *op. cit.*, pp. 3-6.
35. *Engineering News Record*, Octobre, 1952, 1149, pp. 39-40.
36. *Progressive Architecture*, 35, November 1954, p. 73.
37. Onderdonk, *op. cit.*, p. 39-41.
38. P.L. Nervi, *Structures* (New York : F.W. Dodge, 1956), p. 82.
39. Diamant, Vol. I, *op. cit.*, p. 70-71.
40. *Ibid.*, pp. 103-108.

الفصل الرابع

1. Cf. Max Bill, *Robert Maillart* (Switzerland : Les Editions d'Architecture SA, 1949), p. 15.
من مقالة لروبرت مايار في مجله
Schweizersche Bauzeitung.
2. Bill, *op. cit.*, p. 61.
3. M. Solvadori "Thin Shells." *Architectural engineering* (New York : F.W. Dodge Corporation, 1955), p. 15.
4. C. Whitney, "Reinforced Concrete Thin Shell Structures", *Journal of the American Concrete Institute* (Feb. 1953) Table, p. 524.
5. *Ibid.*
6. Jürgen Joedicke "Shell Architecture" (London : Alec Tiranti Ltd. 1963), p. 11.
7. L. Coff. Prestressed Concrete — A New Frontier, *Engineering News Record* (September 1, 1949).

8. Cf. F.W. Walley, *Prestressed Concrete. Design & Construction* (London: Her Majesty's Stationery office, 1953), p. 1.

لتفاصيل أكثر انظر

9. F. Leonhardt "Continuous Prestressed Concrete Beams" *Journal of the American Concrete Institute* (March, 1953). pp. 617-34.
10. لتفاصيل أكثر انظر
E.R. Schofield, "Construction Starts on Prestressed Concrete Bridge in Philadelphia" *"Civil Engineering"* (July, 1949), pp. 472-74.
11. C. Dobell "Design Progress in Prestressed concrete" *Progressive Architecture*, 30 (October 1949). pp. 84-87.

احتمالات هذه الاسقف جربت في مركز تجارى أنشأ لشركة
جوردان مارش (Jordan Marsh) في بوسطن. في سقف
دائري بقطر ٢٢٢ قدماً ويتنظر استعمالها لتغطية حظائر طائرات
وحلبات ومتاحف.

الفصل الخامس

1. H.R. Hitchcock, *Latin American Architecture* (New York Museum of Modern Art, 1955), p. 20.
2. G. Hill, "Reinforced Construction American Methods", *Architectural Record*, 12 (Sept, 1902), p. 393.
3. *Ibid.*
4. *Ibid.*, pp. 395-94.
5. Shell Concrete for Spanning Large Areas, *Architectural Forum*, 91 (Dec. 1949), p. 106.
6. E.M. Rensaa, "Precast Reinforced Concrete Building Frame," *Engineering Journal* 35. (May 1952), p. 481.
7. *Ibid.*
8. استعمال كمرات الصلب الإنشائية يرفع سعر السقف ١٥٪
أعلى من تكاليف الوحدات الخرسانية الجاهزة.
Cf. *Engineering News Record*, 149 (August 28, 1952), p. 43.
9. C.I.B. Congress 1962. *op. cit.* p. 29.

10. Turkin, *op. cit.*, p. 149.
11. C.I.B. Congress 1962, *op. cit.*, Table I. p. 3.
12. *Ibid.*, p. 6.
13. *Ibid.*, p. 7.
14. H.E. Steinberg, "Great Britain," *Concrete and constructional Engineering*, 51 (Jan. 1956) pp. 31-32
- مبنى البريد العام على شارع نيو جيت New Gate بلندن
المبنى عام ١٩٠٩ مثل وحيد للاستعمال المبكر للخرسانة
المسلحة في المكاتب الحكومية الانجليزية
15. C.I.B. Congress 1962, *op. cit.*, p. 65.
16. C.F. Marsh, *Reinforced Concrete* (London : Archibald Constable 1905), cf. Hajnal-Konyi, *op. cit.*, p. 68.
17. Hajnal Konyi, *op. cit.*, p. 60.
18. *Ibid.*

الفصل السادس

1. Salvadori, *op. cit.*, p. 4.
2. *Architectural Engineering*, *op. cit.*, p. 54.
3. Salvadori & Heller, *Structure in Architecture* (Prentice - Hall Inc. Englewood cliffs, New Jersey 1964), p. 346.
4. *Ibid.*, p. 321.

الفصل السابع

1. W.F. Cassie & H.J. Napper, *Structure in Building* (London; Architectural Press 1952), p. 3.
2. J. Joedicke *op. cit.*, p. 136.
3. H. Windlin, *Modern Architecture in Brazil* (New York, Rienhold), p. 188-189.
4. J. Joedicke, *op. cit.* pp. 126-130.
5. J. Richard, "New Building in the Commonwealth," (London, The Architectural Press 1961), p. 24-5.

6. J. Joedicke, *op. cit.*, p. 108.
7. Structure, *Progressive Architecture* June 1965, p. 183.
8. J. Joedicke, *op. cit.*, p. 172.
9. *Ibid.*, p. 206-9.

الفصل الثامن

1. Boyd G. Anderson, "Cantilever frames support thin shell roofs", *Civil Engineering* (August, 1952), pp. 36-39.
2. R. Zaborowski VO. Gruenwold, "Monolithic Concrete Seaplane Hangars", *Civil Engineering* (August, 1944) p. 67.
3. Cf. C.W. Whitney, "Shell Design Adaptable to many uses, " *Civil Engineering* " (Feb., 1953), p. 38
4. Boyd G. Anderson, *Concrete Skyscraper* (a pamphlet issued by Universal Atlas Cement Company, New York).
5. *Architectural Engineering*, *op. cit.*, p. 56, comments by P. Weidlinger.

الفصل التاسع

1. Michaels *op. cit.*, pp. 68-69.
2. Bicycle-wheel Spans 240 ft, (*Architectural Forum*, May 1960), p. 145.
3. Fred Severud & R.A. Corbelletti, "Hung Roofs," *Progressive Architecture*, 37 (March, 1956), pp. 102-06.
- وقد اقترح المهندسان
Harrison & Abramovitz
منشأ مشابهاً لشركة
Corning Glass Works.
4. Large Precast Structural Concrete Arches, *Rock Products*, 55 (July 1952), pp. 126-27.
5. Michaels, *op. cit.*, p. 19.
6. L. Coff. "Prestressed Concrete Simplified" *Architectural forum* 99 (August 1953), p. 142.

الفصل العاشر

1. Vivus and Krieger, *The Problem of Aesthetics* (New York & Co., Inc. 1952), p. 259.
2. *Ibid.*, p. 286.
3. W. Prill, *Aesthetics Judgement* (New York, W. Crowell & Co., 1929), p. 109.
4. Cf. Onderdonk, *The Ferro-Concrete Style*. (New York : Architectural Book Publishing Co. 1928), p. 73.
6. *Ibid.*, *op. cit.*, pp. 79-81.
5. لتفاصيل أكثر عن الموضوع استشر
W.S. Gray & H.C. Childe, *Concrete surface Finishes, Renderings & Terrazzo* (Westminster : Concrete Publications, Ltd., 1943).
7. Betty Campbell "Precast Concrete slabs-
pp. 244-249.
8. J.G. Lippincott, *Design for Business* (Chicago : Paul Theobald, 1947), p. 98.

9. W.D. Foster, "A French Expression of Modern Architecture," *Architectural Record* (August 1924), p. 100.
10. Joedicke, *op. cit.*, p. 127.

الفصل الحادى عشر

1. F.L. wright, "In the Cause of Architecture," *Architectural Record*, 63 (April, 1928), p. 351.
2. Cf. Collins, *Concrete*, *op. cit.*, p. 143.
3. لرسومات هذه المدينة ارجع إلى
T. Garnier, *Grands Travaux de la ville de Lyons* (Paris : Massin), p. 192-97.
4. T. Hamlin, *Forms and Functions of the 20th Century*, II (New York : Columbia University Press, 1952), p. 61.
5. A. Perret, *op. cit.*, p. 7.
6. A. Perret, "Contribution a une Théorie de L'architecture," *Das Werk*, 34 No. 2 (February, 1947), p. 55.

فهرس أبجدي

الأرقام ما بين القوسين تشير إلى الصفحات التي تحتوي على أشكال مصورة أو مرسومة

الاعتباس في عمارة الخرسانة المسلحة (١٤٩)	مشرومية ٧٧ ، ١١٥ ، ٢٢٢ ، ٢٦١ ، ٢٩٥	(١)
(١٥٠) (١٥١)	٢٩٨ مركبة	الاتحاد السوفيتي
أسمنت	معالجة بيريه ٦٨ ، ٦٩ ، ٧٠	استاد دينامو موسكو ٢٠
الومبي سبريغ التصلب ٨٣	أغشية معلقة ١١٩ ، (٢٠٥) ، ٢٢٣ ، ٢٨٥	أكاديمية العمارة والإنشاء ١٧
الأبيض ٢٧٥	أسبانيا	إنشاء صندوق ٩٤ ، ٩٥ (١٧٢) (١٧٣)
إنجليزي ٣١	حلبة سباق زارزويلا ١١٨ (٢٠٤)	تجارب عن الخرسانة المسلحة ١٩
بورتلاندي ٣١	قبة سوق الجسراس ١١٨ (٢٠٤) ، ٢٣٦ ، ٢٤٠	تطور سبق التجهيز ١٣١
تطورة في إنجلترا ٣١	سقف فريزنون ريكوليتوس ١١٨ (٢٠٤)	تطور طرق صب الخرسانة ٨٨
تطورة في روسيا ١٣٠	أسبيدن ٣١	حوائل حاملة جاهزة
ذو الهواء المحبوس ١٢٤ ، ٨٤	استراحة معسكر كولومبيا ١٠٣ (١٩٠)	زيادة قوة الأسمنت ٨٣
ذو القوة العالية المبكرة ٨٣	استمرار ماذي وهندسي ٢١٧ ، ٢٢٥ ، ٢٢٩	سبق التجهيز حديد التسليح ٨٥ ، ٨٦
زيادة القوة ٨٣ ، ٨٢	استاد	سبق التجهيز ٢٠ ، ٢١ ، (١٦٧) (١٧٠)
الروماني ٣١	دينامو موسكو ٢٠	قوانين الخرسانة المسلحة ١٣٦
طرق هاري وسيجان ٣١	مدينة مونتييفيدو ١٩ ، ٢٤٠ (١٨٩) ، ٢٦٥	اجهادات قص التواء ٢٢١
مجهودات سميتون ٣٠	مدينة ليون ٧٤	إجهاد لاحق ١٠٣
مضاد للكبريت ٨٤	أسطح عمالة	الاحتياجات المعمارية الحديثة ٢٣٤
المسلح ٩٧	الفتحات ٢٣٥ ، ٢٣٦ ، ٢٢٣ ، (٣٣١)	اختيار المنشأ - إمكانيات التنفيذ ٢٣٣
منخفض الحرارة ٨٣	مشكلاتها المعمارية ٢٣٥ ، ٢٣٦	ظروف الموقع ٢٣٣
نسبة الماء إلى الأسمنت ٨٦ ، ٨٧ ، ٨٨	اسطوانات رأسية ٢٥٣ ، ٢٥٤ ، (٣٢٦)	الإدراك البصري ٢٨٥
البرقي ٢٦	أسقف معلقة (١٨٩) (١٩٠) ٢٦٦ ، ٢٦٥	رجنتين
ألمانيا	أسقف مسنمة ٢٤٢ ، ٢٤٣ ، ٢٥٤ ، ٢٥٥	مشروع حظيرة طائرات ١٤٢
برج أينشتاين ٢٩٧ ، (٤١٧)	أسقف منطقة ٢٤٣ ، ٢٥٥ (٢٢٤)	بنك الأمة ٢٩٧
برج تليفزيون شتتجارت ٢٥٤		عمارة E.M.S.A. بينونس ايرس (٤٢٧)
تطور الخرسانة المسلحة ٤١ ، ٤٢		الأردن
تطور عمارة الخرسانة المسلحة ٧٤ ، ٧٥		صوامع للفلال ٢٣٧
٧٦ ، ٧٧		أرذود ، أ ٤٣
تاريخ الصدقات القشرية ١١٧		أرذود ، ليوبولد ٥٢ ، ٧٧
حمام سباحة في فوبرتال ٢٠		أعمدة خرسانية
حظيرة طائرات فرانكفورت ٢٤٢ (٦٠٢)		أشكالها ٢٦٧ ، ٢٦٨ ، (٣٨٩) ، (٣٩٠)
صالة اجتماعات بمدينة كالسروه ٢٦٦ ، (٣٨٥)		
صالة شفاترسمال في كارلسروه ٢٠		

الصالة المتوية في برسلو ٧٧ ، ٢٦٤
(٣٨٢)

صالة الاحتفالات ببرلين ٧٦
صالة سوق فرانكفورت على ماين ١١٧
(٢٠٢)

صالة سوق كولونيا ٢٥١ (٢٥٩)
صالة سوق رايمز ١١٧
صالة اجتماعات الكونغرس ٢٦٦ (٢٨٦)
صالة سوق ليبزج ١١٧ (٢٠٢)
طريقة سيلبركوهل ٢٤٥
كنيسة بيشوفشايم ٧٤ (١٦٠)
كنيسة نيوايم ٧٤ (١٦٠)
كنيسة سانت موريتياس ٣٠٥ (٤٢٤)
كوبرى فوق قنال نيكار ١٢١ (٢٠٨)
مخزن شركة دنلوب ٢٥١

مصانع زايس ١١٧
مرفق الكهرباء في فرانكفورت ١١٧ (٢٠٢)
مصنع وستلاند ٢٥٢
مصنع ترايمف انترناشال ٢٥٢ ، ٢٥٣
مصنع ويبر واوت ٢٥٣
نصب تذكارى في وايمار ٧٦

أمريكا

أحياء الطراز الإغريقى ٥١
الن ماثيو ٣٥
اكتشاف الخرسانة المسلحة ٣٣ ، ٣٦
برج برايس باوكلاهوما ٢٥٧ (٣٧٩)
برج المعامل في مركز شركة جونسون واكس
برسكنسن (٣٦٩)
تاريخ الصدفات القشرية ١١٩ ، ١٢٠
تسليح بالشبك الممدد ٤٥ ، ٤٦
تطور الخرسانة المسلحة ٤٥ ، ٤٧

تطور عمارة الخرسانة المسلحة ٦٢ ، ٧٥
تطور سبق الإجهاد المحيطى ١٢١

جامعة ترينتى ٩٩ ، ١٠٥
جمالونات سابقة التجهيز والإجهاد ٩٧
جمعية الأسمنت البورتلاندى ١١١
الجمعية الأمريكية للخرسانة (٣٧٢)
حدائق المدوى ٧٥
حظائر طائرات في رايبدي سى ١١٩ (٢٠٦)
حظيرة جريل ٣٠
حظيرة طائرات شركة الخطوط الجوية الأمريكية
بشيكاغو ١١٩ (٢٠٧)
حظيرة طائرات الخطوط الجوية العالمية بشيكاغو
١١٩ (٢٠٧)

حظيرة طائرات الخطوط العالمية الجوية
بكانساس سى ١١٩ ، ٢٤٣
حظيرة طائرات الخطوط العالمية بنيويورك
١١٩ ، ٢٤٣
حظيرة طائرات الخطوط الأهلية بميامى ١١٩
حظيرة طائرات شركة ناشيونال إيرلاينز
(٣٧٠)

الحلقة الجديدة باوكلااند ٢٤١ (٣٤١)
حلقة رالى بكارولينا الشمالية ٢٠
خرسانة جاهزة الخلط ٨٧
خزانات مياه سابقة الإجهاد (٣٠٩)
ساحة مدينة راليه ٢٦٦

سبق الإجهاد والتجهيز ١٢١
سبق تجهيز بانوهات زخرفية ١١١ ، ٢٧٨
سبق تجهيز حديد التسليح ٨٥ ، ٨٦
سبق التجهيز على الموقع ٩٨
سوق نيوكانن ١٠١ ، ١٢٠ (١٢٦)
(١٢٧) (١٨٣) ، ٢٤١
صالة اجتماعات مدينة يوتيك ٢٦٥

صالة بولينج كلوفرليف لينز ٢٥٤
طريقة البلاطات المرفوعة ٩٨ ، ٩٩
عمارة الاقتباس ٥٦ ، ٥٧
عمارات ماريناسى ١٠٩
قبة مسرح جامعة تولين ١١٩
كلية صامويل موريس وازرا ستايلز في جامعة
ييل ٢٧٨

كنيسة الصليب المقدس باريزونا ٢٥٦
كوبرى الدستور ٢٠٨
كوبرى في اوكونوموك ٤٦
مبنى ماك جريجور التذكارى ٢٥٥ (٣٧٢)
متحف ستانفورد الصغير (١٥١)
متحف هايدن ١١٩ (٢٠٦)
محطة تحليل المجارى في هيننج ١١٩ ، ٢٣٧
(٣٣٢)

محطة القوى في مدنورس ٢٧٧ (٢٩٦)
محطة مطار سانت لويس النهائية بولاية
ميسورى ٢٥١ (٣٦٠)
محلات سيرز وروباك ٢٥٤ (٣٧٠)
مخزن البحرية الأمريكية ١٠٢
مخزن داوسن (١٥١)

مدرسة واشنطن كارفر ٢٦٦
مرصد سانت لويس ٢٤٤ (٣٥١)
مركز جمعية الخرسانة ٢٥٥
مسرح تالاهاسى ٢٥٣ (٣٦٨)
مسرح ذكرى الحرب لاونداجا كاوتى ٢٥١
مسرح جراومان ٥٧ (١٥١)
مسرح ماساتشوستس ١٢٠ ، ٢٢٧ ، ٢٢٨
(٣٣٤) ، ٢٤٤
مسرح مايان ٥٧ (١٥٠)
مسرح هوليود ٥٧ (١٥٠)

مسرح وجمينزيوم جامعة فرجينيا ٩٨
(١٧٩)
مصانع سافارين ٢٦٩
مصانع شركة سار ١١٩ (٢٠٦)
مصانع فيشر للطائرات ٢٦١
مصنع آلات كيلى وجونز ٤٣
مصنع خراسانى فى بايون ٤٦
مصنع المسامير والصواميل بنيويورك ٤٠
مطعم شركة شفلر (١٩٣)
مطعم بلويزيانا (٣٧٣)
معبد بيت شولوم (٢٣٩)
معبد إسحق (١٨١)
معبد الملايكة (١٥١)
معبد يونيتي ٧٥ (١٦١)
معدلات زيادة أسعار مواد البناء والأجور
(٢١١)
معسكر كولومبيا (١٩٠) ٢٤٠
معسكر جامعة كولومبيا ١٠٣ (١٩٠)
معرض فى ساحة ماكورمك - شيكاغو ٢٩٩
معرض ماشية بالاباما ٢٥١
معمل البحوث الطبى بينسلفانيا ٩٧ (١٧٥)
(١٧٦)
مقر شركة جونسون واكس ٢٥٤
المكتبة الرئيسية فى بالواتو بكاليفورنيا ٢٨٢
(٤٠٤)
ملعب الهوكى بجامعة ييل ٣٨٧
ملعب البيسبول بكولومبيا ٢٩٥ (٤١١)
منزل الدكتور ستور ٢٧٩ (٣٩٨)
منزل فريمان ٢٧٩ (٣٩٨)
منزل مستر شارلز اينس ٢٧٩ (٣٩٨)
منزل مس اليس ميلاد بكاليفورنيا ٢٧٩
(٣٩٨)

منزل نوكس فيل ٢٦٧
منزل وارد ٣٩ ، ٤١ (١٤١) (١٤٩)
اكتشاف الحديد الزهر ٣٢ ، ٣١
الإنشاء الهندسى ٥٣ ، ٥٢
إنشاء الحديد الزهر ٥٢
إنشاء مونييه ٤١ ، (١٤٢)
اندردونك ٧٥

انجلترا

تطور الوحدات الزخرفية الجاهزة ٢٧٩ ، ٢٨٠
تطور الخرسانة العادية ٢٦ ، ٢٧
حمام سباحة فى نورثامبتن ٢٦٥
حوائط حاملة جاهزة ٩٣
جمالونات سابقة التجهيز والإجهاد ٩٧
جراج فى لونج بريدج ٩٩
صالة التمرينات البحرية الملكية ٢٥٢
طراز الفكتورى العالى ٥١
طرق الإنشاء الهيكلية الجاهزة ٩٠ ، ٩١
طريقة البلاطات المرفوعة ٩٩
طريقة جاك بلوك ١٠٠ (١٨٢)
طرق سبق التجهيز ١٣٠ (١٦٤) (١٦٥)
(١٧١)
عمارات شارع زوار ٥٥ (١٤٨)
عمارات كوارى هل ٢٦٨
عمارات هوت بوينت ٢٥٧
القصر البلورى ٥٣
قوانين الخرسانة المسلحة ١٣٦
محطة أتوبيس ستوك ويل ٢٤٢ (٤٣٣)
مركز ICI (أى - سى - إل) (٣٦٦)
مطبعة دبدن ٢٦٥
مطعم شركة ماى وبيكر ٢٥١ ، ٢٥٢

مكاتب شركة رولز رويترز ٩١ (١٦٤)
مصنع شركة كولودنس ٩٧
مصنع كابلات انفيلد ٢٣٦ ، ٢٤١ (٣٤٢)
اندرسون ، بويد (٣٧١)
انسياب هندسى ٢٩٧

الإنشاء

بالاسطح الفعالة ٢٣٥ ، ٢٣٦ ، ٢٢٣
بالاسطح الفعالة المنطبقة ٣٢٤
بالحجارة ٢٣٠
بالحوائط المتقاطعة ٢٢٢
بالخلايا ٢٢٢ ، ٢٥٧ (٢٢٣)
الخطى الهيكل ٢١٨ ، ٢٢١ ، ٢٦٤
٣١٩
السطحى ٢٨٣
الصندوقى ٢٥٦ ، ٢٦٠ (٣٢٣)
بالعمود والعتب (٣١٨)
العضوى ٢٤٢
الكتلى ٣٠٠
المعلق ١٠٣ ، (١٨٩) (١٩٠) ٢٦٥ ،
٢٦٦ ، ٣٠٠ ، ٣٨٤ ، ٣٨٥
الهيكل للبحور الواسعة ٣٢٠
الهيكل بالعقود المنحنية ٣٢١
الهيكل بالوحدات الخطية المتقاطعة ٣٢٢
بوحداث قشرية مفردة الانحناء ٣٢٥ ، ٣٢٦
بوحداث قشرية مزدوجة الانحناء مختلفى
الإشارة ٣٢٧
بوحداث قشرية مزدوجة الانحناء من نفس
الإشارة ٣٢٨
بوحداث قشرية مزدوجة الانحناء - دورانية
٣٢٩

أوربسا

تطوير الإنشاء المعدني ٣٢
تطور الخرسانة المسلحة ٣٣ ، ٤١ - ٤٥

أوروبا الشرقية

تطور حوائط حاملة جاهزة ٩٣

أورجسواي

استاد مدينة مونتهفيديو ١٩ ، ٢٢ (١٨٩)

٢٤٠ ، ٢٦٥

أوردونيز (٣٥٥)

أورينجا ، الفارو ٢٥٢

أيرلي ، جون ٢٧٦ ، ٢٧٧

أيفل ، جوستاف ٣٢

إيموند ١١٨

إيطاليا

بيت الاستحمام في شيانسيانو ٨٩

حمام سباحة في لجهون ٢٤٢ (٣٤٤)

حمام سباحة الكلية البحرية ٨٩

ست حفاظات للطائرات ٩٦ ، ١٠٣ ، ٢٦٥

السوق المغطاة في بسكيا (٢٩٥ و ٤١١)

سراي الرياضة الصنوبر روما (١٩١) ٢٤٠

٢٩٦ (٣٠٩) (٣١٠) (٣٤٠)

صالة الرقص في شيانسيانو ١٠٤ ، ٢٩٦

(٤١٣)

طرق الإنشاء الهيكلي الجاهز ٩٢

طريقة ستراكتورايبند (١٦٦)

قصر الرياضة ٢٨٦ ، (٤١٠)

كنيسة سان بيتر ١١٧

مخزن مدينة فرارا ١١٨ ، (٢٠٥)

مصنع طباق بولونيا (١٩٥) ، ٢٩٦

(٤١٣)

مصنع جاتي للصوف ١٠٧ ، ٢٩٦ ،

(٤١٣)

مصنع الفاروميو (٢٠٥)

معرض ميلانو ٩٨

معرض تورين ١٠٤ ، (١٧٧) ، ٢٤٢ ،

٢٤٤ ، (٣٤٤)

مطعم الكورسال ١٠٤ ، (١٩١) ، (٣٥٠)

٢٩٥

نادي الانزلاق على الجليد ٢٩٥ ، (٤١٢)

(ب)

باكستون ، جوزيف ٥٣

بالونات ١٠٧

باني ، ماريو ٢٤٧

باروني ، جيورجيو ١١٨ (٢٠٥)

برانكوزي ٢٩٣

براءة الاختراع

رانسوم ٤٦٠

سكوت ٣٥

دكتور فوكس ٣٢

كونييه ٢٩ ، ٣٤ ، ٣٥

هايات ٣٦

هنيبيك ٤٢ - ٤٥

برازيل

كسوات للخرسانة ١٢٥

قصر الفنون بسان باولو ٢٣٧

قنوات طويلة ذات قطاع مقعر ٢٥٣

قوانين الخرسانة المسلحة ١٣٦

مبنى وزارة التربية والتعليم ١٢٥ ، ١٣٤

مصنع نسيج في كاليش ٢٥٣

برج

اينشتين

لايفل ٣٢

برايس ٢٥٧ (٣٧٩)

تليفزيون شتوتجارت ٢٥٤ (٣٦٩)

ماريسيون ١٠٥

المعامل في شركة جونسون واكس بولاية

ويسكنسن (٣٦٩)

برونلسكي ٥٣

بكري ، بهاء ١٧

بلا كيد ، م . أ ١٨

بلا كيس ٢٥٧

بلاطات رأسية ٣٧٩

بلاطات فعالة ٣٧٦ (٣٢٣)

بلاطات منكسرة ٢٢٢ (٣٢٤)

بلاطات مسنمة ٢٢٢ (٣٢٤)

بلاطات مرفوعة ٢٦١

بلاطات خرسانية إنشائية ١١٤ ، ١١٥ ، ١١٦

بلوكات خرسانية زخرفية ٧٥ ، ٢٨٠ ،

(٣٩٨) ، (٣٩٩)

بلوكات رانجر ٢٧

بلنو ، كارل ١٠١

بلجيكا

كنيسة سان جان بايست ٢٦٥

بنك باولتادي كومير سيو ٣٠٧

بهرنز ، بيتر ٦٠

بوتزولانا ٨١

جامعة ميتشيغان ١٨
 جارنييه ، توفى ٦٠ ، ٧٢ ، ٧٣ ، ٧٤
 (١٥٩) ، ٣٠١
 جراج شارع بونتيو ٦٦ (١٥٦)
 جروبيوس ، والتر ٧٦
 جريلى هوراس ٣٠
 ج . ع . م

استعمال تشابيك مسلحة ٢٨٢ (٤٠٢)
 تطور الحرسانة المسلحة ١٣١
 شركة بونيفيكا ١٠٤ (١٩٢)
 صوامع الغلال ٢٥٣ ، ٢٥٤ (٣٦٩)
 طلبية سنة ثمانية عمارة ٢٤٣ (٣٤٦)
 منازل مديرية التحرير ١٠٤
 معهد بحوث البناء
 معدلات زيادة الأجور ١٣٢ (٢١١)
 معدلات زيادة أسعار مواد البناء (٢١١)
 معبد الكرنك (٣٣٠)
 الهيئة العامة للصناعات ٢٥٤
 جوتييه ، تيوفيل ٥٨
 جودمان ، برسيغال ٢٢٩
 جونسون ، ل . س ٣١
 جودوين ، هنرى ٥٥
 جودييه ٦٥
 جيديون ، س ٢٧
 جيل ، ج ٩٨
 الجمال ٢٧٢
 جمالون فيرانديل ٩٧ ، ٢١٩ ، ٢٦٧ ،
 ٢٦٨ (٣١٩)

الجمعية الملكية للمهندسين المعماريين البريطانيين
 ٣٤
 الجمعية الأمريكية للخرسانة (٣٧٢)

تروخا . أ ١٧ ، ١٨ ، ١١٧ ، ١١٨
 (٢٠٤) ٢٩٦ ، ٢٤٠
 تسليح شبك مدد ٤٥
 تشابيك
 استعمال بيريه ٧٠ ، ٦٩
 حاجزة الشمس ٢٨١ (٤٠١)
 زخرفية ٢٨١ (٤٠١)

تشيكوسلوفاكيا
 مخزن منتجات صناعية ومصبغة (٣٥٣)

تطور الحرسانة المسلحة
 مؤثرات اقتصادية ١٢٥ ، ١٣٣
 منافسة الصلب ١٢٥ ، ١٢٦ ، ١٢٧
 الشكل الجمال ٢٨٣ ، ٢٨٤
 مقارنة بين اتجاهين ٤٢٣
 تعدد الألوان ٥٢

التعرف على ارتفاع المبنى ٢٨٤ (٤٠٥)
 التكوينات الدورانية مزدوجة الانحناء
 قطاعات (٤٣٤) (٣٣٥) (٣٣٦)
 (٣٣٧)
 تجميعات وحدات (٣٣٧) (٣٣٨)
 رفعها على أعمدة (٣٤٠) (٣٤١) (٣٤٢)
 موجة (٣٣٩)
 التكوينات الفراغية البلاستيكية (٢٨٤)
 تماسك مادي ٢٩٧
 تيرنر ، هنرى ٤٧ ، ١١٥ (١٩٨)

(ج)

جامعة القاهرة ١٨
 جامعة كولومبيا ١٨ ، ٢٢

بوجوتا
 مصنع كلارك ١٠١
 بوست ، ج ب ٤٥
 بوقار ، روجيه ٦٧

بولندا
 وحدات قشرية سابقة الإجهاد والإجهاد ١٢١
 (٢٦٧)

طرق حوائط حاملة جاهزة ٩٢
 مصنع لسيج في مدينة كاليس ٢٥٣ (٣٦٧)
 منزل سال وكامبوس ٢٨٢
 مخيمات خرسانية زخرفية ٢٨٢ (٤٠٢)
 بوالو . ل . س ٢٩ ، ٥٤ ، ٥٥ (١٤٧)
 بولوه ٢٧٣
 بولاسترين متمد ٨١
 بوليه ٢٨ ، ٢٩٨
 يوم ٧٤ ، ٧٥ ، ١٠٥ (١٦٠)

بورتوريكو
 صالة العشاء بفندق لاكونشا ٢٣٩ (٣٣٩)
 بيريه ، أوجست ٦٠ ، ٦٥ - ٧٣ (١٥٥)
 (١٥٦) (١٥٧) (١٥٨) ٢٦٥ ،
 ٢٧٣ ، ٢٧٨

بيزانو . ف ١٠١ (٣٦٥)
 بيل . و . م ٤٥
 بيرو . جان لوك ٢٨١

(ت)

تانبجي ، كنزو ٢٥٦ ، ٢٧٤
 تايلر ، ج . س ٢٣٧
 تجميع وحدات قطع زائدى مكافئ ٢٤٥
 (٣٦٥ - ٣٧٠)

دعمارك	٢٢٢
طرق سبق التجهيز ١٣٠ (٣٦٧)	تطورها التاريخي ٢٦ ، ٢٧ ، ٢٨ ، ٢٩ ،
دوبل ، روبرت ٢٥٦	٣٠
دوران ٥١	حوائط موجة ٢٨
دي بولوه ، اناتول ٦٠ ، ٦٢ ، ٦٣ (١٥٣)	خفيفة الوزن ٨٠ ، ١٣١
ديروه ، ميز ثان ٢٨٢	جائزة الخلط ٨٧ ، ١٢٩
دي لافورج ، باغان ٨٣	عقود خرسانية ٢٨
دي تودسكو ٤٤	غازية ٨١ ، ٨٢
دير سانت انسيلم للاخوان البندكتين ٢٥٦	مقاومة للصقيع ٨٤ ، ٢٧٤
(٣٧٥)	

(ز)

راسكن ٥٠ ، ٥١ ، ٥٣ ، ٥٩ ، ٦٠ ، ٦٥	تشكيلاتها الإنشائية ٢٩٥
رانسوم ، فريدريك ٣٥ ، ٤٦ ، ٤٧ ، ٦٢	معالجتها ٢٩٥
(١٤٦) ، (١٥٢)	التعبير الفني عن مكوناتها ١٩٨ ، ٢٩٣ ،
رايت ، فرانك لويد ٦٠ ، ٧٥ ، ١٠٥	٢٩٥
٢٥٧ ، ٢٨٣ ، ٢٩٤ ، ٢٩٥ ، ٢٩٧	خواصها ٢٩٣ (٤٢٠)
(١٦١) (٣٩٧) (٣٩٨) (٤١٦)	الخرسانة كمادة بلاستيكية متباعدة ٢٩٥ (٤١٢)
رايل ، م. هـ. ٦٤	الاتجاه الإنشائي (٤١١)
ركام	اتصال الأعمدة بالبلاطات (٤١٢)

بيرليت ٨١	أعصاب الأسطح الفعالة (٤١٣) (٤١٤)
خفيف الوزن ٨١ ، ٨٧	الاتجاه التعبيري (٤١٧)
زجاج بركاني ٨١	الاتجاه الزخرفي (٤١٩)
زونوليت ٨١	الوحدات الكابولية (٤١٥)
صناعي ٨٠ ، ١٠٣ ، ٢٧٥	خزان مياه في تايلر ١٠٨
طبيعي ٨٠ ، ٢٧٥	(د)
طيني ٨٠	دار مجلس مدينة كوراشيكي ٢٧٤ (٣٩٣)
ريدي ، افونسو ١٣٤	دالي ، سيزار ٥٨
ريمون ، افنتونين ٢٤٦	دربي ، ابراهام ٣١
	دشينجر وموراندي ١٧ ، ١٩

(ح)

حلبة سباق زارزويلا ١١٨	حد المرونة ٨٥
حديد زهر ٣١ ، ٣٢ ، ١١٤ ، ١٢٥	

حظيرة طائرات

في إيطاليا ٩٦ ، ١٠٣ ، (١٧٤) ٢٦٥	في أفورشير ١١٦
أوري ١١٧ (١٨٨) (١٩٥) ٢٤٢	في بانسيفو بيوغسلافيا ٩٨ (١٧٩)
في بانسيفو بيوغسلافيا ٩٨ (١٧٩)	رابيد سيتي ولايمستون ١١٩ (٢٠٦)
الجيش الأمريكي ٢٥٠	بفرانكنفورت ٢٤٢ (٦٠٢)
شركة الخطوط الجوية الأمريكية شيكاغو (٢٠٧) ١١٩	شركة الخطوط الجوية العالمية شيكاغو ١١٩ (٢٠٧)
شركة الخطوط الجوية العالمية شيكاغو ١١٩ (٢٠٧)	شركة الخطوط الجوية الأهلية بميامي ١١٩
شركة الخطوط الجوية العالمية بكانساس سيتي ١١٩ ، ٢٤٣	شركة الخطوط الجوية العالمية بنيويورك ١١٩
مرسيليا ١١٧ ، ٢٤٢	

حوائط

معالجة بيريه ٧١ ، ٧٢	منطقة ٢٥٦
----------------------	-----------

(خ)

الخرسانة العادية ٣٠	في أمريكا ٣٠
---------------------	--------------

(س)

ماليفشان ٦٠

سارينين ، ايررو ٢٣٧ ، ٢٣٨ (٣٨٧)

سبق الإجهاد

بلوكات خرسانية ٢٦٩

تطوره التاريخي ١٢٠ ، ١٢١

مع سبق التجهيز ١٢١

صدفات قشرية (٢١٠)

للكرات المستمرة ١٢١ ، (٢٠٨) ، ٢٦٨

كرات جاهزة ٢٦٩

المحيطي ١٢١ (٢٠٩)

وحدات خطية (٢٠٨)

وحدات سطحية ١٢١

وحدات قشرية سابقة التجهيز ١٢١

سبق التجهيز

إنشاء صندوق ٩٤ ، ٩٥ ، (١٧١)

(١٧٢) (١٧٣)

أسقف قشرية ١٠٠ ، ١٠١ (١٧٧)

(١٧٨) (١٨٣) (١٨٤) (١٨٥)

في أمريكا ١٢٨ ، ١٢٩

في أوروبا الغربية ١٢٩ ، ١٣٠

في أوروبا الشرقية ١٣٠ ، ١٣١

في البلاد النامية ١٣٢ ، ١٣٣

بانوهات خرسانية جاهزة للواجهات ٢٧٨

بانوهات زخرفية ١١١

تأثير نقابات العمال ١٢٩

تأثير المناخ ١٢٩

تأثير النواحي الاجتماعية ١٣٤ ، ١٣٥

تأثيره على العمالة ١٣٤ ، ١٣٥

تأثير العمالة ١٢٧ ، ١٢٨

تأثيره المعماري ٢٥٧ ، ٢٥٨ (٣٨٠)

٢٥٩ ، ٢٦٠ ، ٢٦٢

تأثير طريقة الصناعة (٤٢١)

تحليل اقتصادي ١٢٧ ، ١٢٨

تطوره في القرن التاسع عشر ٣٨ ، ٤٢ ، ٦٢

تطوره في روسيا ٩٠ ، ١٣٠ ، ١٣١

جمالونات ٩٦ ، ٩٧ ، (١٧٤) (١٧٥)

(١٧٦)

في روسيا ٢٠ ، ٢١ ، ٢٥٨

مع سبق الإجهاد للوحدات القشرية ١٢١

مع الصب على الموقع ١٠٣ ، ١٠٤ ، ١٠٥

(١٩٠) (١٩١) (١٩٢) ٢٥٩ ،

٢٦٠

العقود ثلاثية المفصلات ٢٦٦

القنوات الطويلة ٢٥٢ ، ٢٥٣

على الموقع ١٣٠ ، ١٣٣

مزاياه ٨٩

معدلات زمنية في روسيا ٩٤ ، ٩٥

معالجات السطح ١١٠ ، ١١١

الوصلات ١٠١ ، ١٠٢ ، ١٠٣ ، (١٨٦)

(١٨٧) (١٨٨)

ستايير ، هيوج ٢٦٦ (٣٨٦)

ستايير ، رودلف ٧٦ (١٦١)

ستون ، إدوارد ٢٨٢ (٢٨٥) (٤٢٨)

ستوديو ديكور شارع اوليفيه متر ٧٢ (١٥٧)

سد نورس ٢٧٧ (٣٩٦)

السطح الجمالي ٢٧٢

سطح خارجي حامل ٢٨٣

سطح خرساني

انطباعات الشدات ١١٠

إدراك بصري ٢٨٥ (٣٩٦) (٣٩٤)

بلوكات خرسانية زخرفية ٢٨٠ (٣٩٩)

تأثير المناخ ١٢٤ ، ١٢

بلوكات خرسانية مفرغة ٢٨٠ (٣٩٩)

خداع السطح ٥٩

ركام مكشوف ٤٤ ، ٤٦ ، ١١٠ ، ٢٧٥

طريقة الطرق ٧٢

طريقة نقل الركام ١١١ ، ٢٧٦ (٣٩٤)

طريقة ناتور بيتولج ١١٠ (١٩٧)

في القرن التاسع عشر ٥٩ ، ٦٠

بلونه الطبيعي ٢٧٤

معالجة الشروخ ٢٧٧

مناقشات راسكن ٥٩

معالجة بيريه ٧٢ ، ٢٧٣ ، ٢٧٧

مكشوفة ١٢٤ ، ١٢٥ ، ٢٧٤ (٣٩٢)

(٢٩٣)

سقف مظلة ٣٢٧

سقف على شكل إكليل الصباح ٢٢١ (٣٢٢)

(٣٧٢)

سلفادوري ، ماريو ١٨ ، ٢٤٦

سميتون ، جون ٢٧ ، ٣١

سوق

الجسراس ٢٣٦ - ٢٤٠ (١٩٠)

جون ٢٧

كولومبيا ٣٥

نيوكانن ١٢٠ (١٨٣)

المغطاة في بسكيا ٢٩٥ (٤١١)
مدينة كولونيا ٢٥١ (٣٥٩)

سويسرا

تاريخ الصدقات القشرية ١١٨
كبارى مايار ١١٥ ، ١١٦ (١٩٩)
(٢٠٠) (٢٠١)
صالة السوق في مدينة فيثيه ٢٨٩ ، ٢٨٦
(٤٠٨)
صالة عرض الأسمنت ١١٨ (٢٠٣)
مبنى جوييتيانم ٧٦
مسرح في مدينة مورج ٤٣
مخزن شركة بشلشافت ١١٥
مخزن التدوير ٢٦١ (١٩٨)
مصنع اشهان ٢٤١

السويد

سبق التجهيز والإجهاد ٩٦
طرق علاج السطح الخرساني (١٩٧)
طرق حوائط حاملة جاهزة ٩٢
عمارة سكنية في اسكيلتونا ١٠٨
كروبري نهر انجر مثالف ٢٦٦
مجموعة فاسبيدال ١٠٩ (١٩٦)
سيفرود ، ف ٢٦٦

(ش)

شاند ، مورتون ٣٥
شارون ٧٦
شيك مدد ٤٥ ، ٤٦ (١٤٥)

شدات

اقتصاديتها في أمريكا ٨٨

بالونيات (١٩٤)

تعداد الاستعمال ١٠٦ ، ١٠٧ ، ١٠٨ ،
١٠٩

تنسيقها ٢٧٧

حديد التسليح ١٩٣
دائمة ٤٤ ، ٧٤ ، ١٠٣ ، ١٠٤ ،
٢٠٥ ، ٢٧٩ (٢٩٤)
دائرية ١٠٩ (١٩٦)
زاحفة ١٠٨ ، ١٠٩ ، ١٢٩
متحركة ١٠٧ ، ١٩٥
قفزة الصفدع ١٠٨ ، ١٢٩

شركة

بوليفيكا ١٠٤ (١٩٢)
شفلس ١٠٦
بريلود ١٢١ (٢٠٩) ، ٢٥٣ ، ٢٥٤

شكل

بلاستيكي ٢٨٥
جمالي ٢٨٣
زئبق الصباح ٢٦٤
شرقي ٢١٧ ، ٢٣٦ ، ٢٣٧
قطاع زائد في مكافي ٢٦٦
مخروطي ٢٢٥
وسائل الإدراك البصري ٢٨٤ ، ٢٨٥ ،
٢٨٦ (٢٠٦) ، (٤٠٨) ، (٤٠٩)

شوستر ، رودلف ٤١

شيكاجو

حدائق المدويني ٧٥
عمارات المكاتب ٣٢ ، ٦١
معبد يونتي ٧٥

(ص)

صالة

أكاديمية العلوم بمدينة كانبرا بأستراليا ٢٣٨
(٣٣٥)
احتفالات ببرلين ٧٦
اجتماعات بمدينة البكره بولاية نيومكسيكو
٢٤٠ (٣٤١)
اجتماعات الكونجرس ٢٦٦ (٢٨٦)
اجتماعات يوتيكا ٢٦٥
اجتماعات بمدينة كارلسروه بألمانيا ٢٦٦
(٢٨٥)
اي . س . ال في وانارولويد (٣٦٦)
بولنج كلوفرليف لينز ٢٥٤
رالي بكارولينا الشمالية ٢٠
سوق فرانكفورت على ماين ١١٧
سوق رويان بفرنسا ٢٣٩ (٣٣٨)
سوق ستيوارت بمدينة نيوكانن بولاية كنتكت
٢٤١ (١٢٥) ، (١٢٦)
السوق بمكسيكو ٢٤٧
سوق مدينة كولونيا ٢٥١ (٢٥٩)
السوق المغطى في مدينة فيثيه بسويسرا
٢٨٦ (٤٠٨)
سوق رايمز ١١٧
شفارتسفال بألمانيا ٢٠
العرض بتورينو ٢٤٢ (٣٤٤)
فرنتون ريكو ليتوس ٢٨٥ (١٩٢)
ك . ب . للتنس بكونهاجن ٢٨٦ (٤٠٨)
ماكينات عرض بباريس ٣٢
مطعم لوس مافانتيلاس بمكسيكو ٢٨٥
(٤٠٦)

إيرفورم ١٠٧ (١٩٤)
 انتر جريد ٩١ (١٦٥)
 بارقس ٩١ (١٦٦)
 البلاطات المرفوعة ٩٨ ، ٩٩ ، ١٠٠
 (١٨٠) (١٨١)
 بيجو ٦٤ ، ٦٦
 بوم ٧٤ ، ٧٥ ، ١٠٥ (١٦٠)
 التفريغ ٨٨
 توماس كرامبتون ٣١
 تراسكون ٩٤ (١٧١)
 ثوباش ٣٢
 جاك بلوك ١٠٠
 جورهام ٣١
 ج - ٨٠ ٩٠ ، ٩١ (١٦٤)
 جو ٦٠ ٢٥٩
 دكتور فوكس (١٣٧)
 دوم - اينو ٧٦ (١٦٢)
 زايس ديشيداج ١١٦
 سبراكتورايد ٩٢ ، ١٦٦
 ستوكس ٣١
 سليير كوهل ٢٤٥
 سينستون ٢٦٩
 شركة - بريلود ١٠٣
 قو ٣٢
 فير بيرن ، ولیم ٣٢ (١٣٧)
 فريتز ليون هارديت ٢١ ، ٢٠٨ ، ٢٦٨
 كوتانسان ٦٣ ، ٦٤ (١٥٤)
 لارسون دنلسون (١٦٧)
 لوفج سبان ٩١
 مونيه ٤١
 ميشك ٩٣ (١٦٨)

سابقة التجهيز ١٢٠
 مسنمة ١١٩ ، ١٢٠ ، ٢٤٢ ، ٢٤٣
 مزدوجة الانحناء ٢٢٥ ، ٢٢٩ ، ٢٣٦ ،
 ٢٤٧
 متموجة ٢٣٩ (٣٠٦) (٣٠٧) (٣٠٨)
 مخروطية ٢٥٣
صلب التسليح
 تجارب في أمريكا ٨٤
 تطور في سويسرا ٨٥
 السحب على الساخن ٨٥
 سبق تجهيزه ٨٥ ، ٨٦
 شبك ممدد ١٠٦
 كصلبات دائمة ١٠٦
 عالي المقاومة في السويد ٨٤
 ذو النتوءات ٨٥
 صوامع الغلال الأسطوانية في الإسكندرية ٢٥٣

٢٥٤ (٣٦٩)

(ط)

الطرز المعمارية ١٩
 إحياء الطراز القوطي ٥١
 الإمبراطورية الثانية ٥١
 التعبيرية ٧٥ ، ٧٦
 التجريدية ٧٦
 الدول ٣٠٨
 الشكلية والتكيفية ٧٦
 الفكتوري العالي ٥١
 الفن الجديد ٦٣ ، ٦٤ ، ٦٥ (١٥٤)
 كتابات راسكن ٥٠

طريقة

إستيوارت - فرلما (١٦٩)

مدخل مبنى الإدارة في مركز أبحاث شركة
 جونسون واكس
 المنوية في برسلو ٢٦٤ (٣٨٢)
 المشنة بحمامات كركلا ٢٤٣
 مطار سان لويس ٢٨٦ (٤٠٩)
 المسرح في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا
 ٢٣٨ ، ٣٣٤

مصنع ويبر وأوت في مدينة فورسهايم (٣٦٦)
 مصنع وستلاند للمطاط في لنداو (٣٦٦)

صدقات

أسطوانية قصيرة ١١٦ ، ١١٧ ، ١١٩ ،
 (٢٠٦) (٢٠٧) (٢٢٤) ٢٥٠
 ٢٥١ ، (٣٢٦)
 أسطوانية طويلة ١١٧ ، ٢٢٤ ، ٢٥١ ،
 ٢٥٢ ، ٢٥٣ ، (٣٢٦)
 أسطوانات مكافئة ٢٢٧
 انتقالية ٢٢٦ ، ٢٢٧ ، ٢٤١ ، ٢٤٢
 دورانية ٢٢٧ ، ٢٢٨ ، ٢٣٧ ، ٢٣٨ ،
 ٢٣٩ ، ٢٤٠ ، (٣٢٩) (٣٣٢)
 قطاع زائد مكافئ ١١٨ ، ١١٩ (٢٠٥)
 ٢٢٦ / ٢٢٧ / ٢٤٤ (٣٢٧)
 قطاع ناقص مكافئ ٢٢٧

صدقات قشرية

في أسبانيا ١١٧ ، ١١٨
 في ألمانيا ١١٧
 في أمريكا ١١٩ ، ١٢٠
 تطور تاريخي ١١٦ ، ١١٧ ، ١١٨
 (٢٠٢) (٢٠٣) (٢٠٤) (٢٠٥)
 في سويسرا ١١٨
 في فرنسا ١١٦ ، ١١٧ ، ١١٨

فاتور بيتونج ١١٠ (١٩٧)
نقل الركاب (١١١)
نيرثي ، بيير لويجي ٧٤
هاري وسيمان ٣١
ران و بولتن ٣٢ (١٣٧)

طريقة التجميع الإنشائي

التأكيد الأفق (٤٢٦) (٤٢٧)
تأكيد الإنشاء الصندوق (٤٣٠)
تأكيد الإنشاء بالأعمدة المشرومية (٤٣٠)
تأكيد الإنشاء القشري (٤٣٢)
تأكيد الإنشاء والمسطحات الفعالة (٤٣٦)
التأكيد الشبكي (٤٢٨) (٤٢٩)
التأكيد الرأسى (٤٢٥)
المشكيلات الخطية (٤٢٤)
طلبة السنة الثانية عمارة ٣٤٢

الطين

استعماله تاريخياً ٢٦

(ع)

هاكسة موسيقى

مشروع إسكافي ٢٤٧ (٣٥٧)
عزوم الانحناء ٢١٨ ، ٢١٩ ، ٢٩٦
حلي رأفت ١٨ ، ٢١ ، ٢٨١
عقد مكافئ ٢٦٦
عقود طرق الاجار ٢٦٥
عقود هيكلية ٢١٩ ، ٢٢٠ ، ٢٦٤ ، ٢٦٥

عمارة

باركي كوينتا ٢٨٢ (٤٠٣)
دانتون (١٤٤)
سكنية في اسكيلثونا ١٠٨

شارع راب بباريس (٦٤) (١٥٤)
شارع رينوار ٧٢ (١٥٨)
شارع فرانكلين ٦٦ (١٥٥)
شارع زوار ٥٥ (١٤٨)
عضوية ٦٣ ، ٦٤ ، ٢٣٢
فيلكس بوتان ٦٤ (١٥٤)
كواري هيل ٢٦٨
كونيه ٥٥ ، ١٤٨
مرسيليا ٢٧٥ ، ٢٧٧ (٣٩٢) (٣٩٦)
مارينا سيني بشيكاغو ١٠٩
ناسيال ١٠٩
هوت بوينت ٢٥٧

العمالة

مقارنة بين أمريكا ومصر ١٢٦ (٢١١)

(ف)

فان دي فلد ٦٧

فان دي روه ، ميز ٣٠٧

فيروكونكريت ٤٥

فتر وقيوس ٢٦

الفراغ المعماري

بالمواد التقليدية ٢٣٢

بالمواد القوية بالانضغاط والشد ٢٣٢

شامل ٢٨٤

عام ٢٣٥

كبير ٢٣٤

محدود متكرر ٢٣٤

مغلق ٢٣٥

مشاكل الأسطح الفعالة (٣٣١) (٣٣٢)

النسب العامة بالمواد المختلفة (٣٢٠)
فراي ، أوتو ١٧
فرايتاج ، ف . ٢٥٣ (٣٦٦)

فرنسا

استاد مدينة ليون ٧٤ (١٥٩)
تاريخ الصدقات القشرية ١١٦ ، ١١٧ ، ١١٨
تطور الخرسانة العادية ٢٧ ، ٢٨ ، ٢٩
الخرسانة المسلحة ٤٢
عمارة الخرسانة المساحة ٥٧ ، ٦١ ، ٧٤
المباني الطينية ٢٦
جراج شارع بونشيو ٦٦ (١٥٦)

حظائر طائرات

اورلي ١١٧ (١٩١) (٢٠٣)

سانت ساثير ١١٦

في آفورشير ١١٦

مرسيليا ١١٧

حوائط حاملة بجاهزة ٩٢

سقيفة الماكينات في أفينيون ٢٦٤

صالة العرض بمدينة رويان ٢٣٩

طراز الإمبراطورية الثانية ٥١

طرق الإنشاء الهيكل الجاهز ٩١

طرق سبق التجهيز ١٣٠

عمارة ه شارع فرانكلين ٦٦ (١٥٥)

عمارة الاقتباس ٥٤ ، ٥٥ ، ٥٦ (١٤٩)

قصر المركز القومي للصناعة والتكنولوجيا

٢٨٦ (٤٠٩)

مقر هيئة اليونسكو بباريس (٢٧٣)

كارجو ٧٠

كنيسة :

باكار ٢٨١

مقلوبة ٣٤١ ، ٢٤١
معهد ماساتشوستس ١٢٠ ، ٢٣٨ (٢٣٤)
مسرح جامعة تولين ١١٩
متحف هايدن ١١٩ (٢٠٦)
كرشحات هيننج ١١٩ (٢٣٧)

قبسات

مضلة ١١٧
طويلة محروطة (٣٦٨)
طويلة جاهزة (٣٦٤)
الإضاءة العلوية البحرية (٣٦٦)
قصيرة متداخلة (٣٥٩)
قبو حلقى ٢٤٥ (٣٥٢)

القرن التاسع عشر

اكتشاف الخرسانة المسلحة ٣٣ - ٤١
اتجاهات الأحياء والاقتباس ٥٠ - ٥٧
استعمال الزخارف - الملمس ٢٨٣
البحث عن الجمال ٢٨٣
تطور الإنشاء المعدنى ٥٣ ، ٥٢ ، ٣٢
التأكيد الرأسى للأعمدة ٣٠٥
دور الإنشائى ٥٨
رومانتيكية كلاسيكية ٥١ ، ٥٠
كتابات راسكن ٥٠ ، ٥١ ، ٥٣ ، ٥٩
٦٠

سعى وراء المقياس ٢٨٧
قسم العمارة ، جامعة القاهرة ١٧
قشرات خرسانية - معالجة بيوية ٦٩

قصر

البلورى ٣٢ ، ٥٣
الرياضة الصغير بروما (١٨١) (٣٤٠)
٢٨٦ (٣٩٠) (٤١٠)

فيريرن ، ولیم ٣٤ ، ٣٢ ، ٣١
قبولیه لى دوك ٦٥ ، ٦٣ ، ٥٨

(ق)

قبية

استاد مقفل فى هافانا (٢١٠)
إجهاداتها ٢٢٨
ارتكازها ٢٣٩ ، ٢٤٠
تجميعها ٢٣٩ (٢٩٨) (٢٩٩)
تعديلات معمارية ٢٣٨ - ٢٤١
جيوديسية ٢٢١
حلقية ٢٢١
دائرية ٧١١
دورانية على شكل قطاع مكافئ ٢٣٧
رومانية ٢٣٩
ذات سطح محدب ٢٤١
سراى الرياضة بروما ٢٤٠ (٣٠٩) (٣١٠)
سوق الجسراس ١١٨ ، ٢٤٠ (١٩٠)
شويدلر ٢٢٠
قاعة اجتماعات أكاديمية الموم بأستراليا ٢٣٨
القطاع الناقص ٢٢٧
قصر الرياضة الصغير ١٩١ ، ٢٩٦ (٣٤٠)
قصر الفنون بسان باولو ٢٣٧
صالة العرض المثوية فى برسلو ٢٦٤
صالة الرقص بشيانسيانو (٤١٣) ٢٨٨ ، ٤
٢٩٦

صالة اجتماعات فيومكسيكو ٣٠٤٠
صالة سوق ليبزج ١١٧
كنيسة سان بيتر ١١٧ ، ٢٨٥
مقلوبة سابقة الإجهاد ٢٤٠ ، ٢٤١
(١٨٩)

جان دارك دى بلفورن ٢٨١
جان دى مونمارتر ١٥٣ ، ٦٣ ، ٦٢
سانت تريز فى مونمارتر ٧٠
مناطق كورباربو ٢٨

نوتردام دى برانسى ٧٠ ، ٦٩ (١٥٦)
كوبرى أسبى ١٢١ (٢٠٨)

متحف
الأثاث القوي ٧٢ (١٥٨)
الأشغال العامة ٧٠ (١٥٨)
القصر الكبير والصغير ٤٤
مدرسة الفنون الجميلة ٥٧
محطة سكك حديد برن ١١٦
ليل سانت سافير ١١٦
مسرح ديكورنو (١٤٩)
مسرح شانزليزيه ١٥٦ ، ٦٧
مشروع المدينة الصناعية ٧٣ (١٥٩)

مصنع فى سانت دينيس بباريس ٢٩
مصنع ماكينات فى أفينيون (٣٨٢)
مصنع ملابس اسدير ٧١ (١٥٧)
منزل هنيبيك ٤٤ (١٤٤)
مواصفات الإنشاء الخرساني ٤٥
فريسبييه ١٩ ، ١٠٣ ، ١١٧ (٢٠٣)
(٢٠٨) ، ٢٦٩

فلايتمان ، ريتشارد ٢٤٣
فنان بور سعيد ٣٠
فنزويلا : محطة الوصول للعربات المخلقة

٢٤٣٠

فوستر ٢٣٧٠
فوكس ٣١
فيبروليت ٩٥
فيتيلوزى ٣٠٥

نوٹردام دی رانسی ۶۹ ، ۷۰ (۱۵۶) ،
 ۲۷۷ ، ۲۸۰ ، ۳۰۰ (۴۰۰)
 نوٹردام دی رویان ۹۸ (۳۷۶)
 نیو آلم ۷۴
 نیوسترا سنورا دی لاسولیداد ۲۴۵ ، ۲۹۷
 (۳۵۴)

کوبری

اسپی ۱۲۱ (۲۰۸)
 فی اوکولومووک ۴۶
 فی جولدن جیت ۴۶
 علی نهرانچرمنالف ۲۶۶ ، ۳۰۰ (۴۲۰)
 علی نهر ارث ۱۱۵ (۲۰۱)
 علی نهر ثور ۱۱۵
 ستاوافاشر ۱۱۵ (۱۹۹)
 سابلچینا توپل ۱۱۵ (۲۰۰)
 شفاند باخ ۱۱۵ (۲۰۰)
 فلسج (۲۰۰)
 فوق قنال نیکار ۱۲۱ (۲۰۸)
 المشاء فوق نهر تویس ۱۱۵ (۲۰۱)

کوبنهاجن

سقف صالة ك. ب. الشمس ۲۸۶ (۴۰۸)

کولومبیا

سبق التجهيز - وحدات قشرية (۱۸۴)
 (۱۸۵)
 صدفات سابقة التجهيز ۱۰۱ ، ۲۵۲
 مصنع كلارك ۲۵۲
 مصنع بلوكات خرسانية ۲۵۲
 کوزان ، فيكتور ۵۱
 کوستا ، لوسيو ۱۳۴ (۴۰۳) (۴۲۸)

الكفاية الاقتصادية ۲۱۶
 كرات صندوقية ۳۸
 كرات خرسانية - معالجة بيريه ۷۱
 کنندا :
 مسرح نیو افینیو ۱۲۸
 مقر شركة كولومبيا البريطانية ۲۵۷

کوبا :

استاد مقفل (۲۱۰)
 نادى فوتيکو ۲۹۵ (۴۱۱)
 كوبانیا ، جوستاف ۱۳۴

كنيسة

باكارا بفرنسا ۲۸۱
 بيشو فشایم ۷۴
 جان دی مونمارتر ۶۲ ، ۶۳ (۱۵۳)
 جان دارك فی بلفورت بفرنسا ۲۸۱
 سان انطونیو دی لاس هیورتاس (۳۵۷)
 سان انطونیو فی بازل بسويسرا (۳۹۲)
 سانت تریز فی مونمانی ۷۰ ، ۲۷۷ ، ۲۸۰
 (۳۹۶) (۴۲۰)
 سان بیتر ۱۱۷
 سان جوزیه اوبریرو ۲۴۶ ، ۲۹۷
 (۳۵۶)

سان جان بابتست ۲۶۵ ، (۳۸۴)
 سان فنسنت ۲۴۶ ، ۲۹۷ (۳۵۶)
 سان موریتياس ۳۰۵ (۲۲۴)
 الصليب المقدس ۲۵۶ ، ۲۷۸ ، (۳۷۷)
 القلب المقدس بواشنجطن ۲۷۶
 کاومو ۷۰
 لاس لوماس ۲۴۵ (۳۵۳)
 لفيسينيه ۲۹ ، ۵۴ (۱۴۷)

الرياضة الكبير (۳۹۰)
 كورف ۲۷
 سيروس ۸۰

الفنون بسان باولو ۲۳۷ (۳۳۳)
 المركز القوي للصناعة والتكنولوجيا بباريس
 ۲۸۶ (۲۰۹)

(ك)

كابولي ۲۹۶ (۱۴۴) (۴۱۵) (۴۱۱)
 كان ، البرت ۴۷
 كان ، جوليو ۴۷
 كان ، لويس ۲۹۶ (۳۹۶) (۴۱۴)
 كاندلا ، فيلكس ۱۸ ، ۱۱۸ ، ۲۴۵ ،
 ۲۴۶ ، (۳۵۳) (۳۵۴) (۳۵۶)
 (۳۵۷) (۳۵۸) (۴۰۶) (۴۱۶)
 (۴۳۲)
 كارتاشوف ، كبرا ۱۷ ، ۲۱ ، ۲۲
 كازيز ، نيكولاس ۲۸۱
 كازال دل بياتري ۲۴۳
 كاتدرائية الجزائر ۲۴۴ (۳۵۱)
 كرايست - جانر ، فيكتور ۱۰۱ ، (۱۸۳)
 (۴۳۴)

كسوات

بلاطات سيراميك ۶۳ ، ۶۶
 بلوكات مزججة ۱۲۵ ، ۶۴
 رخام ۶۸
 طوب ظاهر ۷۴ ، ۷۵
 موازيكو ۱۲۵
 كركادلي ۳۶
 كريستوف بول ۴۵
 الكفاية الإنشائية ۲۱۶

سقف ألف قدم ٢٤٢ (٣٤٣)
مشاكل الفراغات المعمارية بالأسطح الفعالة
مشرقيات إسلامية ٢٨١ (٤٠٠)

مسرح :

تالاهاسي	٢٥٣ (٣٦٨)
جراومان	٥٧ (١٥١)
ديكورزوه	(١٤٩)
هوليدن	٥٧ (١٥٠)
سيراكيوز	٢٥١
سيثاجويا	٢٧٤
الشانزليزيه	٦٧ (١٥٦)
مايان	٥٧ (١٥٠) ٢٧٩
ماسا تشوستس	١٢٠
في مدينة مورج	٤٣
نيو افينيون	١٢٨
وارنر	١٠٠
مضلع القوى	٢١٩

مطعم

الكورسال	١٩١، ٢٩٥، (٣٥٠)
شركة شفلر	(١٩٣)
شركة ماي وبيكر	٢٥٢
بلويزيانا	(٣٧٣)

مصنع

آلات كيلى جونز	٦٢، ٤٧
الفار وميو	(٢٠٥)
اشمان	٢٤١
بوتس	٢٦١
بلوكات خرسانية	٢٥٢
جاق بروما	١٠٧، ٢٩٦
	(٤١٣)

خرساني في بايون	٤٦
دقيق الطاحونة المثالية	٤٣، ٦٢
زايس	١١٧

سافارين

شركة باد	١١٩، (٢٠٦)
طباق بولونيا	(١٩٥)، ٢٩٦ (٤١٣)
فيشر الطائرات	٢٦١
الغزل في تركوان	٤٣، ٦١
الغزل في فيث	٤٣، ٦١
كابلات انفيلد	(٢٣٦)
لاميكس	٢٤٧ (٣٥٨)
ماكينات في افينيون	(٣٨٢) (٣٦٥)
ملايس اسدير	٧١
نسيج في كاليس	٢٥٣ (٣٦٧)
هيرديز	٢٤٧ (٣٥٨)
ويبر واوت	٢٥٣
وستلاند	٢٥٢ (١٥٧)

مكتب مهندسين لإنشائين

اوف اراب وشركاه	٣٧٨
بويد اندرسون	٣٧١
تروخا، ادوارد	٤١٥
جنزالز، ح	٤١١
جلوفر وشركاه	٣٨٨
روبرت دوويل	٣٧٧
روبرت وشيفر	١١٩ (٢٠٦) (٢٠٧)
	٢٣٧ (٤٦٦) (٣٥٨) (٣٦٠)
كاندلا، فيلكس	١٨، ١١٨، ٢٤٥
	٢٤٦ (٣٥٣) (٣٥٤) (٣٥٥)
	(٥٦) (٣٥٧) (٣٥٨) (٤٠٦)
	(٤١٦) (٤٣٢)

كونارد هروبان	(٣٥٣)
كوف، ل	(١٨٨)
كبير	(٣٧٨)

لافاي، برنارد ٩٨، ١١٨، ١١٩،
(١٧٩) (٣٧٦)

نرفي، بيير لويجي	١٧، ٧٤، ٩٦، ٩٧
	٩٨، ١٠٣، ١٠٤، ١١١، ١١٧
١٢٠	(١٧٤) (١٧٧) (١٧٨)
(١٩٥)	٢٨٦، ٢٩٦، ٣٨٤
١٢٠	(١٨٣) (٢٦٤) : (٣٥٥)
(٣٨٩) (٤٠٧) (٤١٣)	
بول ويدلنجر وماريو سادوري	١٠١،
(٣٦٨) (٣٨٣) (٤٢٩) (٤٣٤)	

مكتب مهندسين معماريين

ارنود	(١٤٤)
اريو ومينديز	(٢١٠)
ادولف لوس	١٦٢
افونسو ريدي	(٤٣٥)
أنشن وألن	٢٧٨ (٣٥٦)
	(٣٧٧) (٣٩٧)
أوتو أبل وشركاه	(٤٣٦)
أوليبي وأوليبي	٢٥٧
أوستن، ح	(١٥١)
أوشيه	(١٥٤)
اليوت نويز	(١٩٤)
امان ووتني	١١٩، ١٢٠ (٢٠٧)
	(٣٧٠) (٤٣٦)
اوسكار نيماير	(٤٢٧) (٤٣٥)
اورد ونيز	(٣٥٥)
باي وشركاه	(٣٥٨)
بورجس، ماكس	(٣٨٢) (٤١١) (٤٣٣)

مايكلز ليونارد (٤٣٠)
 مايروهلر (١٥١)
 مرجان والز وکليمنتز (١٥٠)
 المعماريون المتعاونون ٢٥٣ ، ٢٥٥ ، (٣٦٨)
 (٣٨٩)
 مندلسون ، اريك (٤١٧)
 ميزفان دي روه (٤٢٥) (٤٢٦)
 موزر ، کارل ٣٩٢
 هاريسون وابر ما فيتر (٤٠١)
 هنيك ٤٢ ، ٤٧ ، ٦١ ، ٦٢ ، ٦٦ ،
 ١١٤ (١٤٣) (١٤٤) (١٥٢)
 (١٥٤)
 ياماساكي ولاينویر وشركاهم ٢٥١ (٣٦٠)
 (٣٧٢)

مكسيكو

سقيفة مصانع سيبا (٣١٦)
 سقيفة موسيقى في جودا لاجارا (٣٥٧)
 كنيسة
 بيوريزيما ٢٥٢ (٣٦١) (٤٣٤)
 سان انطونيو دي لاس هيرتاس (٣٥٧)
 سان جوزيه اوبريرو ٢٤٦ (٣٥٦)
 سان فنسنت ٢٤٦ (٣٥٦)
 لاس لوماس ٢٤٥ (٣٥٣)
 نيو ستر سنورا دي لاسوليداد (٣٥٤)
 ٢٩٧ ، ٢٤٥
 صالة الاجتماعات بمدينة البكر ٢٤٠ (٣٤١)
 معمل الاشعة الكونية بالجامعة المكسيكية ٢٤٥
 (٣٥٣)
 مطعم لوس مانتيالس (٣٥٥)
 مصانع هيردز في تاكوبا (٣٥٨)
 مخزن مكسيكي (٤٣٢)

ستون ، إدوارد ٢٨٢ (٣٨٥) (٤٢٨)
 ستاينر ، هيوچ ٢٦٦ (٣٨٦)
 سكد مور وأوونج وميريل ٢٤١ (٤٢٩)
 سولانو واروتيجا ١٠١ ، ١٢٠ (١٨٤)
 (١٨٥) (٣٦٤) (٤١١) (٤١٦)
 سيفرود وكتور بليتي ٢٦٦
 شتاينر (١٦١)
 شو ويتزودوليو ٢٩٩ (٤١٨)
 شيروود وميلز وشييت (٤١٩)
 شونيجر وتنجي وجيتاز (٤٠٨)
 علي رأفت ١٨ ، ٢١ ، ٢٨١ ، ٢٨٢ (٤٠٢)
 فرايتاج ، ف ٢٥٣ (٣٦٦)
 فكتور ، كرايست - جانر (١٠١) ،
 (١٨٣) (٤٣٤)
 فرای درو ودريك ولازن (٤٠١)
 كان ، لويس ٢٩٦ (٣٩٦) (٤١٤)
 كويلار وسيرانو وجيتز وشركاهم ٤٢٦
 كورن جولده ل ٠٣٧ ، (٤٢٩)
 كوستا ، لوسيو ١٣٤ (٤٠٣) (٤٢٨)
 كويلار وسيرانجو جوينر وشركاهم ٣٠٦
 لامورا ٢٦٤ ، ٢٩٧ ، (٣٥٤) (٣٥٦)
 (٣٥٧)
 لافيروت ٦٤ (١٥٤)
 لوکور بوزيه ٧٦ ، ١٢٥ ، ١٣٤ (١٦٢)
 ٢٧٣ ، ٢٧٤ ، (٣٩٦) (٤١٨)
 (٤٢٧)
 لودز موريس ٢٨١ (٤٠٠)
 لندمان وهاید ينستام ١٠٨
 لويس موندينو وايونيل ميبرا ١٠٣
 لويس ، ادولف ٧٦ (١٦٢)
 مارسيل بروير وزيرفوس ونرق (٣٧٣)
 مارنيان (٣٥٧)
 ماكسويل فرای وجان درو (٤٢٩)

برنارد ، لافای (٢٠٥)
 بروير ، مارسيل (٣٩٥)
 بروير وزيرفوس ريفي ٢٥٥ (٣٧٣)
 بوالوه (١٤٧)
 بيريه ، أوجست (٣٩٦) ، (٤٠٠)
 بيكت ، ولتون وشركاه (٤٣٤)
 بيرسيغال جود مان (١٦٣)
 بريزي وجوري وريتشي وسافوال (٤١١)
 بريتيو ، أ (٤١٦)
 بلنر واندرسون ٢٤١
 تانجي ، كنزو (٣٩٣)
 تكتون (٣٧٨)
 تيودور لاشيه (١٤٧)
 جلانكلر وبرود ويل (٩٧٣)
 جوبلاروسل ومانيويل لارونا (٣٥٣)
 جويلاوم (٣٧٦)
 جلن ، آلن (١٥١)
 جيورجيو باروني (٢٠٥)
 جون وسلا بروهارد (٣٩٩)
 جونسون ، اوستنفيلد (٤٠٨)
 دانكان ، بيتر (٣٧٨)
 رانسوم ، فردريك ٣٥ ، ٤٦ ، ٤٧ ، ٦٢
 (١٤٦) (١٥٢)
 راغليل ولويس جرازياي ٣٠٧ (٤٢٧)
 رايت ، فرانك لويد (١٦١) (٣٩٧)
 (٣٩٨) (٤١٦) (٦٠) (٧٥) (١٠٥)
 ٢٥٧ ، ٢٩٣ ، ٢٩٤ ، ٢٩٥ ، ٢٩٧
 رينو ليبي (٤٢٧)
 ريموند ورادو ٢٥٦ ، (٣٥٥) (٣٧٥)
 (٣٨٣) (٣٩٢) (٣٩٥) (٤٢٤)
 روبرت مايار (١٩٨) (٢٠٣)
 سارين ، ايرو ٢٣٧ ، ٢٣٨ (٣٨٧)

مكتبة جامعة أبادا بنيجريا ٢٨١ (٤٠١)
الملتس الخرسانى ٢٧٢ ، ٢٨١ ، ٢٨٢ ،
(٢٩٤) (٣٩٥) (٣٩٦) (٣٩٧)
(٣٩٨) (٣٩٩) (٤٠٠) (٤٠١)
(٤٠٤)

منزل

ادجار كاوفان فى بنسلفانيا ٢٩٧ (٤١٦)
البالونات ٢٣٨ ، ٢٣٩
مسز أليس ميلارد ٢٧٩ (٣٩٨)
ستاينر ٧٦ (١٦٢)
الدكتور ستورز ٢٧٩ (٣٩٨)
مستر شارلز اينس ٢٧٩ (٣٩٨)
سافوى ١٦٢
فى فوكس فيل ٢٦٧
فريمان بلوس انجلوس ٢٧٩ (٣٩٨)
كونييه ٥٤
مادو م. ٤٢
ناظر محطة سوريسن ٢٩
هنيبيك ٤٤ (١٤٤)
وارد ٣٩ ، ٤٠ ، ٤١ ، ٦٣ (١٤١)
(١٤٩)
إسحق ١٠٠ (٥٨١)
بيت شولوم (٢٩٧) ٢٣٩ (٣٦٦)

معبد

بوليتى ٧٤ (١٦١)

معروض

ماشيه الاباما ٢٥١ (٣٥٩)
بروكسل ١٩٦٠ - الجناح الأمريكى (٣٨٤)

باريس ١٨٦٧ ٣٥

تورين ١٠٤ ، ٩٧ ، ٢٤٢

معهد

ماساتشوستس للتكنولوجيا ٢٣٧ ، ٢٣٨
(٣٣٤)

معسكر كولومبيا (١٩٠) ٢٤٠
مقالات عن الخرسانة ١٨

مقر

شركة جونسون واكس ٢٥٣
الجمعية الأمريكية للخرسانة ٢٥٥
هيئة اليونسكو ٢٥٥ ، ٢٥٦
شركة كولومبيا البريطانية بكندا ٢٥٧
الشتوى لفرانك لويد رايت (٣٩٧) ٢٧٨
مقبرة سيد يادل ديافلو ٢٤٣
المقياس ٢٨٦
الملتس ٢٧٢ ، ٢٧٧
ملعب البيسبول بكولومبيا ٢٩٥ (٤١١)
متدلسون ، اريك ٢٩٧
مهزات خرمانية ٧٢
موديلور ٢٩٩ (٤١٩)
مؤنة يديو - سقف حلبة ١٠٣
مورينى ، لويجي ٢٤٣
مونيه ٣٣ ، ٣٩ ، ٤١ ، ٤٧ ، ١٣٥
(١٤٢)

مولينو ، كارلو ٢٩٥

مينا جيه ٢٢٠

(ن)

ناطحة سحاب خرسانية (٣٧١)

نادى

الإنزلاق على الجليد ٢٩٥ (٤١٢)
فوتيكو بكوبا ٢٩٥ (٤١١)
العشاء (٣٣٩)

نرق ، بيير لويجي ١٧ ، ٧٤ ، ٩٦ ، ٩٨
١٠٣ ، ١٠٤ ، ١١١ ، ١١٧ ، ١٢٠
(١٧٤) (١٧٧) (١٧٨) (١٩١)
(١٩٥) ٢٨٦ ، ٢٦٨ ، ٢٩٦ ،
(٣٨٤) (٣٨٩) (٤٠٧) (٤١٣)
نويز ، اليوت ١٠٧ ، ٢٣٨

نيجيريا

مبنى المكتبة بجامعة أبادا ٢٨١ (٤٠١)
مكتب فراى ودرودريك ولازدن ٢٨١
نيماير ، اوسكار ١٣٤ ، ٢٣٧ ، ٣٠٧

(هـ)

هاوارد ، بيركن ٢٧٩
هايات ٣٣ ، ٣٦ ، ٣٧ ، ٣٨ ، ٣٩ ،
٤٦ (١٣٨) (١٣٩) (١٤٠)
هنيبيك ٤٢ ، ٤٧ ، ٦١ ، ٦٢ ، ٦٦ ،
١١٤ (١٤٣) (١٤٤) (١٥٢)
(١٥٤)
هوبس ، فيليب ٤٢
هوك ، توماس ٥١ ، ٥٢
هويس نهر كالدرا (٣١)

هياكل :

جاهزة ثلاثية المفصلات (٣٨٨)
خطية ٧٧

صندوقية ٢٢٢ (٣٢٣)

هيل ، ج ١٢٦

هروبان ، كونارد (٣٥٣)

(و)

وارد ، ٣٣ د ، ٣٩ ، ٤٠ ، ٤١ ، ٤٦
(١٤١) (١٤٩)

رايس ، ج ٤١

وحدات :

إنشائية خطية ٢١٧ - ٢٢١ (٣١٧)

إنشائية سطحية ٢١٧ ، ٢٢٢ (٣١٧)

انتقالية (٣٤٣) (٣٤٤)

خطية دورانية (٣٨٢)

رأسية مفردة الانحناء (٣٦٩)

قشرية مفردة الانحناء (٣٢٥) (٣٢٦)

(٣٥٩) (٣٦٠) (٣٦١) (٣٦٢)

(٣٦٣) (٣٨٤)

قشرية مزدوجة الانحناء مختلفي الإشارة

(٣٢٧) (٣٤٩) (٣٥١)

قشرية مزدوجة الانحناء من نفس الإشارة -

انتقالية (٣٢٨)

(ى)

ياماساكي ولاينووير وشركاهم ٢٥١ (٣٦٠)
(٣٧٢)

اليابان

دير سانت انسيلم (٣٧٥) ٢٥٦

كنيسة الرهبان البندكتيين بطوكيو ٢٥٦

كنيسة سانت باتريك ٣٩٢

مبنى مجلة ريدير دايجست بطوكيو (٣٩٥)

صالة مدخل مجلس مدينة كوراشيكى (٣٩٣)

٢٧٤

مسرح سيتاجويا ٢٧٤

مجموعات هاروى السكنية ٢٧٤

يوغسلافيا

طريقة جو ٦٠ ٢٥٩

سبى التجهيز ٢٥٩

قشرية مزدوجة الانحناء - دورانية (٣٢٩)

القطع الزائدى المكافئ* (٣٥٣) (٣٥٤)

(٣٥٥) (٣٥٦) (٣٥٧) (٣٥٨)

منطقة فى الاتجاهين (٣٤٥) (٣٤٦)

منطقة مثلثة القطاع (٣٧٢) (٣٧٣)

(٣٧٤)

مزدوجة الانحناء على مساقط متعددة الأضلاع

(٣٤٨)

مسمنة (٣٧٠) (٣٧١)

وصلات :

راسل ٩٦

جافة ١٠١

سائلة ١٠١

ولكنسون ٤٢ ، ٣٤ ، ٣٣

وليامز ، أمانكيو ٢٣٦

ويد لنجر ٢٤٦

ويدوراسل وجونسون (٣٧٠)

نشر هذا الكتاب بالاشتراك

مع

مؤسسة فرانكلين للطباعة والنشر

القاهرة - نيويورك

أغسطس سنة ١٩٧٠



علی احمد رافت

معماری مصری شابہ يعمل كاستاذ بجامعة القاهرة بالإضافة إلى مزاويلته لمهنة الهندسة المعمارية وذلك بعد أن أمضى خمس سنوات في الدراسة بالولايات المتحدة الأمريكية .

وقد حصل الدكتور علی رافت علی بكالوريوس العمارة من جامعة القاهرة عام ١٩٤٩ ثم قام بالتدريس فی کلیة الهندسة حتى تقمره عام ١٩٥٢ وذلك علی منحة فولبرايت للدراسة بأمريكا .

وقد حصل علی شهادة الماجستير من جامعة متشجن عام ١٩٥٣ والدكتوراه فی العمارة من جامعة كولومبيا عام ١٩٥٧ . وأثناء وجوده بكولومبيا كان علی صلة وثيقة بالبروفسير ماريو سلفادوري رئيس قسم الهندسة المعمارية وذلك فی دراساته الخاصة بالخرسانة المسلحة . وقد ظهرت الطبعة الأمريكية الأولى لكتاب الدكتور علی رافت :


“Reinforced Concrete in Architecture”

عام ١٩٥٨ عن طريق الناشر الأمريكي هينولد بنيويورك وقد تبعته الطبعة الروسية بموسكو عام ١٩٦٣ .

وأثناء وجوده بأمريكا تعاون الدكتور علی رافت مع مكتب بيركنز وويل ومكتب أمان ووهي . والكتابان قاما بمجهودات كبيرة بالخرسانة المسلحة فی الولايات المتحدة . كما قام الدكتور علی رافت بعدة أعمال معمارية بالخرسانة المسلحة داخل وخارج الجمهورية العربية المتحدة .



Bibliotheca Alexandrina



0584193